

基于 ATML 和 STD 的舰船装备保障通用测试系统研究

张大伟

(中国人民解放军 91054 部队, 北京 102442)

摘要: 随着舰船装备保障测试维修需求的不断增加, 对自动测试系统的通用性、系统互操作性和测试程序可移植性要求越来越高; 传统的自动测试系统已不足以保障舰船装备和持续不断的维修改造情况, 严重制约了舰船装备保障测试维修的发展; 在对 ATML 建模描述、STD 信号组件动态模型与测试资源管理等研究的基础上, 进行了基于 ATML 和 STD 的舰船装备保障通用测试系统设计与研究; 该设计可有效解决测试程序可移植问题, 为实现舰船装备全寿命周期测试信息共享交互奠定基础。

关键词: 自动测试系统; 通用性; 测试程序; 可移植性

Research on the General Test System of Warship Equipment Support Based on ATML and STD

Zhang Dawei

(PLA Unit No. 91054, Beijing 102442, China)

Abstract: With the increasing requirement of warship equipment support test and maintenance, the requirements for the generality, system interoperability and portability of the automatic test system are becoming more and more high. The traditional automatic test system is not enough to meet the complex and changeable requirements of test support, which seriously restricts the development of ship equipment support test and maintenance. Based on the research of ATML modeling and describing STD signal component dynamic model and test resource management, the design and research of ship equipment support general test system based on ATML and STD are carried out in this paper. The design can effectively solve the problem of test program transplanting, which lays a foundation for realizing the information sharing and interaction of equipment life cycle test.

Keywords: automatic test system; generality; test program; portability

0 引言

随着中国国力逐渐增强, 建设近海防御与远海护卫相结合的远海战略型海军已经成为我军新阶段现代化进程中的一项紧迫的战略任务, 这对我国海军装备建设提出了更高的要求 and 更多的需求。当前舰船装备保障维修测试设备型号多, 通用性差, 适用面窄, 自动化、智能化程度低等诸多问题伴随着新一代海军装备的投入使用逐渐凸显出来, 舰船装备保障维修测试设备及其研制配套和装备修理能力无法满足装备全系统全寿命保障需求成为亟待解决的问题。为适应当前装备保障维修的发展特点, 研发通用化的军用自动测试系统 (Automatic Test System, ATS) 成为了必然, 即采用标准的硬件接口实现仪器可互换, 并通过符合通用规范的软件平台的不同配置来实现 ATS 内部资源共享^[1], 将测试开发环境从传统的面向仪器转至面向信号, 使维修测试平台的开放性和可扩展性融合在一起, 解决了自动测试系统中测试信息交互共享问题, 为系统提供内部良好的互操作性, 可有效提高对舰船装备的状态监测和故

障诊断能力。

舰船装备保障通用测试系统是信息共享与交互的结构, 能够实现不同测试程序可移植与系统组件间测试资源共享, 因此其设计实现必需满足两个基本条件: 一是和测试程序有关的硬件信息实现标准化描述; 二是自动测试系统信号组件接口定义的统一^[2]。自动测试标记语言 (automatic test markup language, ATML) 标准基于 XML 格式对测试需求信息以及测试资源进行描述, 提供了灵活、标准的信息描述模式, 将测试程序相关信息逐类分离, 可保持各类信息的独立性。STD 标准 (Standard for Signal & Test Definition, STD) 即定义信号与测试的标准, 给出了定义和描述信号的规范化格式, 该标准不仅提供一系列常用信号的定义与精准的数学模型, 并且提出一种由简单信号构建复杂信号的机制, 使测试过程围绕信号展开, 完成信号信息的传递与存储, 实现软件系统的信号接口功能。通过对系统资源与测试信息进行标准化规范, 将测试需求和仪器能力以一致的方式描述, 为实现装备维修测试系统的开放性与扩展性奠定了基础。

1 舰船装备保障通用测试系统软件设计

新一代舰船装备构造复杂、使用的技术含量高, 在投入

收稿日期: 2018-08-27; 修回日期: 2018-09-20。

作者简介: 张大伟(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事舰船装备保障信息化方向的研究。

频繁的部队实战化训练过程中暴露出的故障问题不断出现。现在使用的全寿命周期测试舰船装备保障过程中存在各阶段测试能力扩展性差、测试软件研发周期长、测试效率低、装备维护成本高等问题，已不能满足新一代装备的维修保障需求，针对这种情况提出了基于 ATML 和 STD 的测试系统软件平台，是针对多种电子平台和系统研制的通用测试系统，在统一的数据信息处理模式下，将系统业务按照功能拆分为更加细粒度的模块，各模块之间通过统一格式描述的测试信息有机地结合起来，可实现测试信息模型构建与全寿命周期信息共享交互，其逻辑结构如图 1 所示。

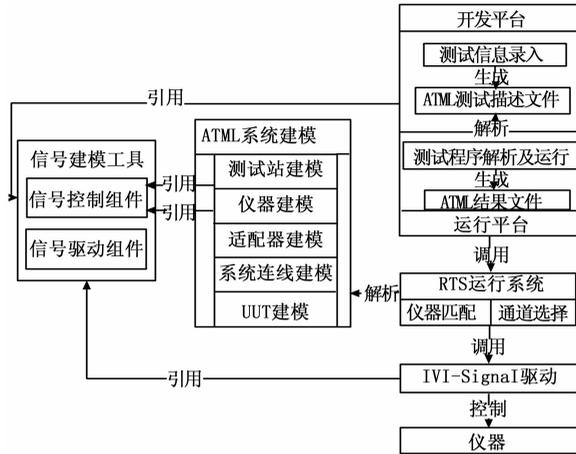


图 1 舰船装备维修通用测试系统软件逻辑结构

舰船装备保障通用测试系统软件平台采用组件技术模块化开发思想，各模块职责清晰并且模块之间可以相互调用：通过 ATML 建模描述对测试系统资源信息进行存储，保证自动测试系统内部采用一致的公共语义描述方式，使不同组件之间测试信息共享交互，并调用信号控制组件接口，实现测试需求到信号需求的资源映射，然后将信号组件参数信息传递给运行时服务系统（Running Time Service, RTS），RTS 将信号组件参数信息与仪器信息进行匹配，根据相应仪器的节点信息进行路径最优化选择，最后调用 IVI-Signal 驱动执行测试。

2 基于 ATML 的测试资源描述

2.1 基于 ATML 的系统资源描述

ATML 标准是现代测试领域中用于信息描述格式标准化的 IEEE 标准，主要用来记录和控制自动测试设备之间的测试信息交换流。ATML 标准将测试信息描述体系结构可将测试系统资源建模描述分为：测试描述、测试站描述、仪器描述、测试适配器描述、UUT 描述以及公共部分等 9 个部分。ATML 标准下的每个子组件均有一个 IEEE 协会定义的 XML Schema 文档，XML Schema 文档描述了 ATML 描述文档的树形结构，其中详细定义了自动测试系统中测试资源中元素、属性以及测试资源之间的连接关系等相关信息的描述结构。ATML 标准通过规定 XML 描述文档的结构和属性，对测试资源信息进行处理和保存，能够有

效地实现测试信息的共享与传递。ATML 描述文档与自动测试系统系统结构的关系如图 2 所示。

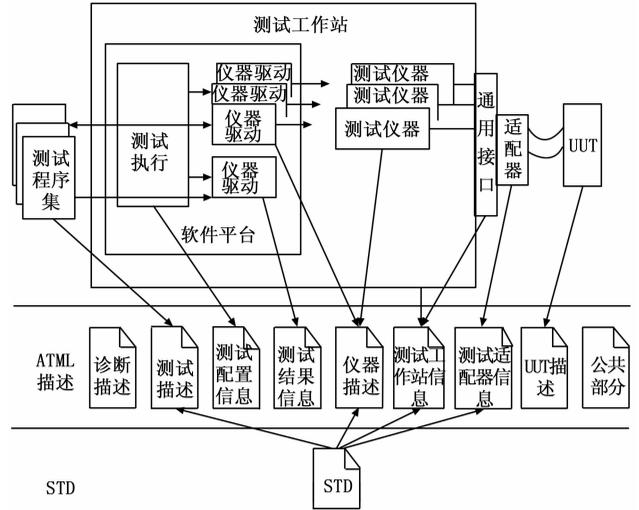


图 2 自动测试标记语言测试描述与军用自动测试系统关系

ATML 系统资源描述接口的加入并不会影响自动测试系统内部组件和接口的操作性，却使自动测试系统系统组件互操作性大大增强。对于一个特定测试任务的工作站来讲，需要测试工作站、测试适配器、测试配置以及和每个仪器对应的仪器描述文档，针对被测对象 UUT，需要 UUT 和测试描述文档，其中测试描述用于测试程序的生成。ATML 描述文档为测试程序执行提供系统资源信息，为虚拟资源映射以及信号通道路由提供数据支持。

以仪器描述文档生成为例，当编辑测试仪器的信息后，测试程序创建测试仪器 XML 文档，首先添加仪器 UUID 节点信息，其次依次添加测试仪器逻辑名称节点信息、仪器类别节点信息、仪器信号能力节点信息（包括信号能力节点、仪器物理端口节点与逻辑资源节点）、信号能力映射仪器物理接口节点信息、仪器物理端口映射逻辑资源节点信息，最后保存测试仪器描述 XML 实例文档。

仪器能力描述包括使用 Interface 元素描述仪器通道信息，使用 Capabilities 描述通道信号能力信息。仪器资源配置用于解决信号能力和仪器物理端口对应关系复杂的问题，由 Resources 元素描述虚拟的仪器逻辑资源作为信号能力到仪器端口的中介，通过信号能力到逻辑资源的映射和逻辑资源到物理接口的连接，实现不同的信号能力到仪器物理接口的分配。

2.2 基于 ATML 的测试描述

测试描述并不是自动测试系统的一部分，但在装备维修通用测试系统软件平台开发过程中可以用来生成测试程序，ATML 测试描述框架如图 3 所示。测试描述包含定义测试性能、测试条件和支持设备的信息^[9-11]，以定位和验证 UUT 的正常操作。DetailedTestInformation 子元素即描述详细测试信息，测试执行时读取测试入口点、测试流程、测试步骤等信息，自动生成测试程序并完成测试动作，是形成测试程序集（Test Program Set, TPS）最核心的内容。

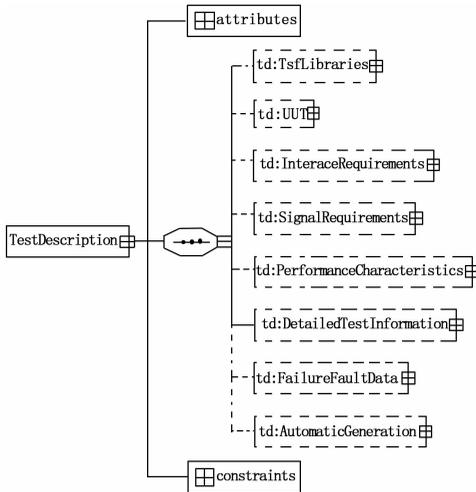


图 3 自动测试标记语言测试描述框架

测试人员根据实际任务要求通过软件平台交互界面配置测试描述信息，然后通过系统软件分析测试需求信息并自动生成测试描述文档并进行解析，解析流程如图 4 所示。

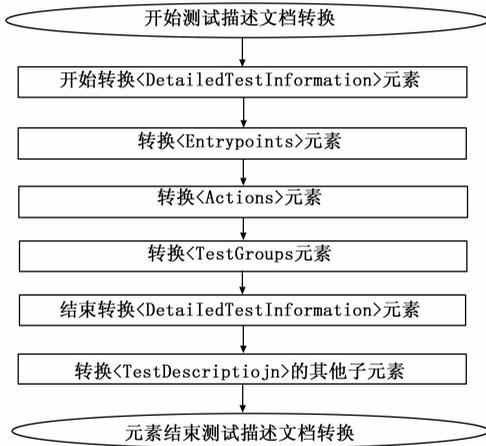


图 4 测试描述文档解析流程

通过解析测试需求中的信息，获取测试对象信息、测试流程信息以及测试流程中测试信号特征信息等；然后将信号特征信息传递给信号控制组件，信号控制组件根据信号特征创建信号组件对象并与运行时服务进行信息交互，将信号组件对象传递给 RTS。

3 信号控制组件开发

现阶段舰船装备保障维修测试设备的研制以面向仪器为主，面向仪器的测试程序开发包含大量的仪器操作语句，并且因仪器设备品类庞杂、功能各异，而无法统一描述 UUT 的测试需求，造成测试程序复用性和系统互操作性很差。为了解决上述问题，ATML 引用 STD 标准 (Standard for Signal & Test Definition, STD) 定义测试信号，并以信号的形式描述测试需求与测试能力，使面向信号的 TPS 测试流程不涉及物理仪器相关信息，为实现 TPS 可移植提供了基础^[5]。STD 标准不仅以严谨的数学定义描述了常用的

基本信号，而且还提供了信号复合扩展机制，可根据实际任务需求通过基本信号构建复杂信号并形成可重用的信号组件类库。每个信号组件都包含相应的信号类型及信号属性，还包括信号模型定义及其 XML 描述格式。STD 根据信号的功能分为源、调理器、时间、测量等七类，通过控制 IDL 接口对信号模型进行控制^[6]。测试人员可通过 COM 组件技术开发 BSC 和 TSF 信号组件。

并且 STD 标准提供了信号扩展机制，其信号类基本囊括了所有信号，能够为 TPS 开发所涉及的信号信息提供信号模板，使仪器匹配、开关路径选择、信号能力到仪器命令转换等问题得到解决。

3.1 基本信号组件

信号基本组件模型是建立信号组件的基础，它提供信号组件所有可能的接口和属性。基本信号组件定义了基本信号类的共有特性与接口属性，是信号的设计原型，其模型如图 5 所示。基本信号组件模型提供了信号的 XML 文本描述或图形化描述，反映了信号的名称、类型、属性、结构等特征，可以作为组件对象实例化和动态模型运行的基础。

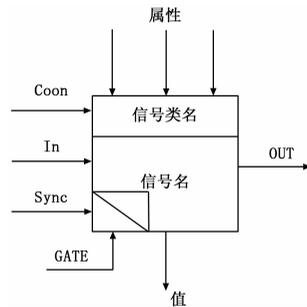


图 5 基本信号组件模型

通过基本信号组件的模型可以看出，基本信号组件含有一组公共属性接口描述信号的各种特征，其中包括：In 输入端口、Conn 连接端口、Sync 同步端口、Gate 使能端口和 Out 输出端口，软件平台通过控制各端口对基本信号进行控制操作。其中 In 表示信号的输入，可实现基本信号类之间的连接；Conn 接口是基本信号组件之间链接合成复杂信号的关键；Sync 和 Gate 接口实现同步和触发功能，前者表示信号的同步触发，后者表示信号的门限状态；Out 是信号输出端口。同时在模型中还定义了基本信号的特有属性，如幅度、频率等。在信号实例化时只需要对信号属性进行赋值，就可以设置信号的特征参数^[7]。

3.2 信号组件交互与状态转换

需求信号对象的创建、初始化的过程本质上是信号组件的配置过程，其具体过程为：软件平台调用信号组件资源管理器类的 Require 方法创建信号对象实例，并根据信号需求信息设置信号对象；接着信号对象与物理特性对象进行信息交互，获取信号特征信息；然后资源管理器类通过 Require 方法创建连接器对象^[8]，并设置被测对象的连接信息；最后软件平台通过信号状态接口调用信号对象的 Run 方法与运行时服务进行交互。

信号状态操作不仅可以将信号组件对象传递给 RTS，实现测试需求信号到仪器的映射，控制仪器执行测试，还可以调用相关方法改变信号状态，避免频繁调用仪器的初始化函数及相关配置函数，有效减少测试执行时间。动态信号包含三种状态：信号停止态 Stopped、信号就绪态 Paused 和信号执行态 Running。

有三种改变信号状态的方法，分别为 Stop ()、Change ()、Run ()。其中 Stop () 方法关闭其他信号状态，使信号进入停止，并释放资源；Change () 方法进入状态转换操作，使信号发生转变；Run () 方法使信号处于待触发状态，建立与仪器的连接。

4 测试资源管理模块设计

STD 定义的信号及 ATML 定义的测试资源描述是虚拟的测试资源，无法控制仪器对 UUT 进行测试，因此需要通过设计测试资源管理机制将虚拟测试资源与实际物理仪器进行匹配，控制仪器执行测试。该模块由运行时服务系统 (RTS) 与 IVI-Signal 驱动机制两部分组成。

4.1 运行时服务系统设计

RTS 是软件平台中进行资源管理和调度并执行测试的关键部分，主要完成测试信号与仪器能力匹配、开关路径的选择，通过信号驱动，为测试程序与仪器控制进行有效衔接，实现对 UUT 的测量与激励过程^[9]。

为方便测试程序运行的模块化管理、提高程序执行效率，RTS 以动态链接库 (DLL) 的形式开发，软件平台只需通过加载相应的 DLL 即可调用其功能函数实现测试资源的管理和调度。

RTS 首先需要完成虚拟资源到具体仪器的映射，即将在测试程序中获取的测试信号需求转换成对仪器信号能力的需求，并对信号特征进行分析以及提取，然后利用信号组件对象储存测试需求信号的类型与特征，将信号特征与遍历仪器描述文档获取的仪器信号能力特征进行匹配，返回仪器信息。虚拟资源映射的流程如图 6 所示。

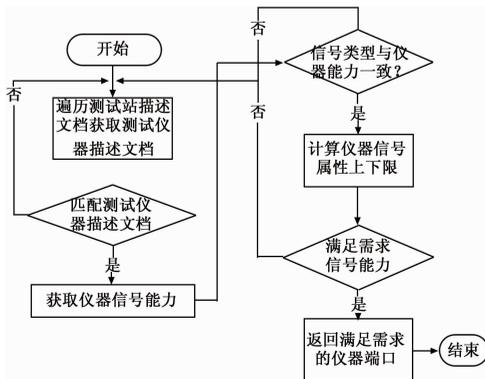


图 6 虚拟资源映射的流程

通道选择是在完成虚拟资源映射选中测试仪器后，查找仪器端口到 UUT 端口的最优测试通道，并对通道上的资源进行相应处理。在测试系统描述信息中，仪器端口信息保存在在仪器描述文档<ports>节点中，物理端口之间的连接关

系存储在<NetworkList>节点中，不同测试资源之间连接的描述存储在<WireLists>节点中。通过制定路由算法遍历硬件端口信息、硬件内部连接信息以及硬件之间连接信息，确定合适的信号通道。通路由流程如图 7 所示。

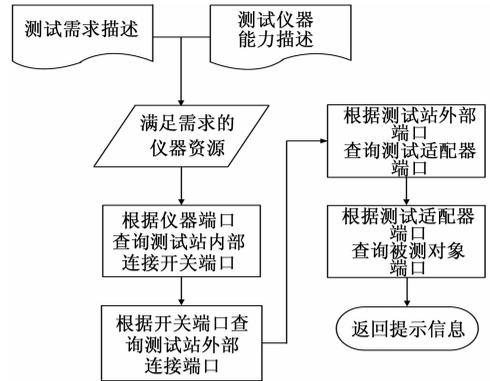


图 7 信号通路由过程

4.2 IVI-Signal 驱动机制

RTS 通过获取仪器地址与 IVI-Signal 驱动机制建立连接，IVI-Signal 驱动根据信号组件对象的信号特征信息，调用其 Run ()、Change ()、与 Stop () 三种方法进行信号状态的改变，查询找到具体的仪器驱动函数控制仪器进行信号激励或测量。

IVI-Signal 驱动对底层仪器驱动函数面向信号进行封装，以 COM 组件的形式存在，并对外提供 IVI 仪器驱动接口。IVI-Signal 驱动可分为 IVI-SignalSource 激励类驱动接口和 IVI-SignalSensor 测量类驱动接口，其中 IVI-SignalSource 接口是激励类仪器驱动类驱动接口，IVI-SignalSensor 接口是测量仪器驱动类驱动。

5 系统实现与验证

基于上述研究设计的舰船装备维修通用测试系统软件，可完成 ATML 建模、STD 信号控制组件设计与测试资源管理机制，并可通过系统软件对测试站设备进行建模，编辑测试策略信息对某装备 UUT 进行测试维修。该平台为用户提供测试信息编辑界面，用户可根据测试任务编写测试描述信息，软件平台将自动生成测试描述 XML 文档。以向 UUT_C1 发生幅值 1 V、频率 1 kHz 的交流信号 AC_Signal 及幅值 1V 的直流信号 DC_Signal 为例，测试描述信息配置界面如图 8 所示。

测试程序通过解析测试描述 XML 文档，根据测试描述信息中的信号特征信息调用信号控制组件创建对应的信号对象并进行初始化操作；调用 RTS 的仪器匹配函数，根据信号对象存储的信号特征信息匹配相应的仪器，当匹配仪器有多个设备时，根据实际需要选择不同的仪器排序方法选择可用仪器；然后找到仪器到 UUT 的测试通路，将仪器信息及路径信息写入测试配置文档。根据测试配置文档，TPS 将测试项的信号转换为待触发状态 ISignal 类保存在测