

# 基于云测试的自动测试系统体系架构研究

丁超, 唐力伟, 邢士杰, 苏续军

(军械工程学院, 石家庄 050003)

**摘要:** 为了解决面临保障任务时, 我军现有保障设备对武器装备故障检测周期过长以及测试资源在测试周期中被单个故障装备长时间占用的问题, 对基于云测试 (cloud testing) 的自动测试系统 (ATS, automatic test system) 的体系架构进行了研究; 以软件可移植性、硬件可互换性和系统互操作性为设计原则, 对面向信号测试领域的云测试系统的体系架构进行了分析; 在充分研究现有 ATS 的体系架构及其存在的突出问题的基础上, 提出了基于云测试的 ATS 的软、硬件模型; 为构建基于云测试的自动测试系统的开发和相关关键技术的研究提供了以有益的借鉴并打下了坚实的基础。

**关键词:** 云测试; 自动测试系统; 体系架构; 硬件模型; 软件模型

## Research on Architecture of the Automatic Test System Based on Cloud Testing

Ding Chao, Tang Liwei, Deng Shijie, Su Xujun

(College of Ordnance Engineering, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the long testing cycle in which the security equipment measures the trouble of the weapon arm in the army and the testing resource which is possessed of the fault arm for a long time in the cycle of testing in face of the security assignment, the architecture of the Automatic Test System (ATS) based on the cloud testing is researched. The architecture of the cloud testing system which is applied in the aspect of signal testing is designed based on the principle of the portability of the software, the interchangeability of the hardware and the interoperability of the system. The model of the software and hardware of the Army ATS based on the cloud testing is advanced which is on the base of the analysis of the architecture and the outstanding problems of the ATS in existence. The architecture offers a beneficial experience and a stable foundation for the study of the build of the ATS based on the cloud testing and the research of the related key technology.

**Keywords:** cloud testing; automatic test system; architecture; hardware model; software model

## 0 引言

随着我军各类新型装备的研制成功和列装部队, 针对装备的具体保障设备也得到了不断的更新, 但列装部队的保障设备中的大部分在日常的大部分时间都处于闲置状态。一旦面临保障任务, 装备的测试需求极大而且非常集中, 要求在短时间内对各种型号装备的各项性能指标进行全面的测试, 但是由于我军的保障设备在测试前的准备工作过多以及有限的测试资源经常被长时间独占, 导致故障装备的整个测试周期过长, 而真正利用的时间很短。其中, 测试周期是保障设备对某一故障装备的各项性能指标进行一次全面测试所需要的时间。

基于云测试的自动测试系统将云计算技术、虚拟化技术、动态资源管理技术、自动测试技术、网络技术等相关技术融合在一起<sup>[1]</sup>, 实现了宝贵的软、硬件测试资源在网络环境下的有效共享, 提高了测试资源的利用率; 限制了测试资源被独占的时间, 在测试前的准备工作中, 当某一测试资源处于闲置状态时, 其他已经完成准备工作的被测对象 (UUT, unit under

test) 可以随时占用该测试资源, 这极大地减少了故障装备的测试周期。

本文在充分研究云测试和现有 ATS 体系架构的基础上, 以软件可移植性、硬件可互换性和系统互操作性为设计原则, 提出了面向信号测试领域的云测试系统的体系架构, 构建了基于云测试的自动测试系统的软、硬件模型。

## 1 面向信号测试领域的云测试系统体系架构

根据美国国家标准与技术研究院 (NIST) 的定义, 云计算是一种利用互联网实现随时随地、按需、便捷地访问共享资源池 (如计算设施、存储设备、应用程序等) 的计算模式<sup>[2]</sup>。云计算技术是在集群计算、效用计算、网格计算、服务计算等技术的基础上发展而来的<sup>[2]</sup>。通过管理基于计算机集群组建的云计算数据中心, 采用数据中心设计、管理, 虚拟化, 动态资源管理等技术, 使用户可以像使用水、电一样按照自身需求以服务的方式购买或者租用云计算资源。

云测试技术作为云计算技术的一个重要部分, 通常被定义为一种有效利用云计算环境资源对于其他软件进行的测试或是一种针对部署在“云”中的软件进行的测试<sup>[3-4]</sup>。但在信号测试领域中, 将云测试技术定义为一种基于云计算环境, 有效利用虚拟化、动态资源管理、网络、电子数据表格 (TEDS, transducer electronic data sheets) 等新技术, 对被测对象进行的一种并行测试。

基于对软件可移植性、硬件可互换性和系统互操作性的研

收稿日期: 2014-08-29; 修回日期: 2014-10-17。

基金项目: 军械工程学院原始创新基金。

作者简介: 丁超 (1990-), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事基于云测试的自动测试系统方向的研究。

唐力伟 (1961-), 男, 北京人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事信号测试与测试系统方向的研究。

究, 设计了一种对面向信号测试领域的云测试系统的体系架构, 如图 1 所示。

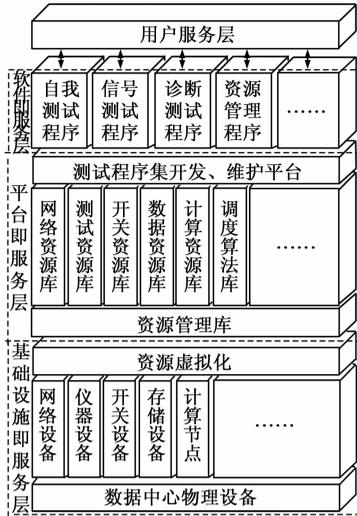


图 1 面向信号测试领域的云测试系统体系架构

该架构通常分为 3 个子层：基础设施即服务层 (IaaS, Instrument as a Service)、平台即服务层 (PaaS, Platform as a Service) 和软件即服务层 (SaaS, Software as a Service)。

IaaS 层负责提供信号测试所需的硬件基础设施, 为用户提供网络、仪器、开关、存储和计算节点等物理设备。在使用 IaaS 层服务时, 用户只需要提供所需设备的配置信息、运行于基础设施上的程序代码和被测对象的检测信号即可。另外, IaaS 通过引入了虚拟化技术, 实现了物理资源与虚拟资源对应链接, 避免了系统访问不同物理设备时的差异, 实现了测试资源的真正共享, 提高了测试资源的利用率。

PaaS 层主要包括云计算测试程序的运行环境以及与其物理资源一一对应的虚拟资源的管理库。通过 PaaS 层的测试程序开发工具和开发语言, 用户只需要在网上上传自己的测试程序代码和 UUT 的检测信息就可以完成对 UUT 的测试任务; 同时, PaaS 层中的资源管理库的存在, 方便了系统对虚拟资源的自动查找、访问和配置。

SaaS 层是基于 PaaS 层开发的测试程序。用户可以利用 SaaS 层中的信号测试程序和诊断测试程序对 UUT 进行信号测试和故障诊断; 在测试过程中, 云测试系统中的资源管理程序会根据信号的调理需求和 UUT 的测试需求自动对资源管理库中的空闲资源进行配置; 云测试系统会定期通过自我测试程序对系统的实时性能进行检测, 并会生成相应的状态检测文档。

## 2 现有 ATS 体系架构

自从 20 世纪 70 年代以来, 伴随着 GPIB、PCI、PXI 等总线的相继出现, 越来越多的自动测试系统开始采用先进的总线技术, 使测试系统的硬件平台日趋标准化、模块化和通用化, 极大地简化了测试系统的硬件结构, 增加了系统的开放性、兼容性以及可靠性。

现有的 ATS 是以标准仪器总线为依托, 在人工参与的情况下, 自动完成对被测对象的信号测试、数据处理和结果显示<sup>[5]</sup>。其体系架构如图 2 所示。

由图 2 分析知, 该系统采用“计算机+标准仪器总线/模

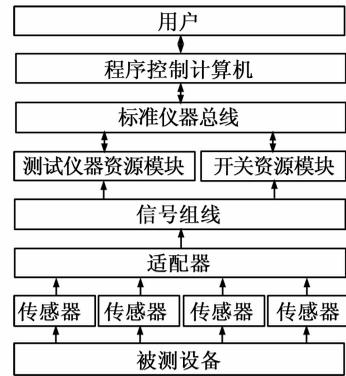


图 2 现有 ATS 体系架构

块化资源+适配器”的模式, 使得系统的组建更加灵活、开放, 但是这种系统仍然存在着测试资源利用率不高和测试过程中存在串行测试的问题:

首先, 单个适配器虽然可同时连接许多传感器, 但当面对连接传感器较少的测试任务时, 一旦适配器接入自动测试设备 (ATE, automatic test equipment), 在整个 ATE 中, 与未接入传感器相对应的测试资源将处于闲置状态, 一直到本次测试周期的结束, 这严重限制了测试资源的充分利用;

其次, 当适配器连接较多传感器进行测试时, 在 ATE 中的测试程序会根据所有接入系统的传感器所代表的测试子任务的异同进行分组, 组建多个不同的测试子任务组 (the child testing tasks group), 并按照一定的顺序对所有的分组采用串行测试的模式进行, 这延长了测试周期, 降低了测试资源的利用率。

现有 ATS 均采用串行测试模式, 缺乏对测试资源的高效利用, 导致了大量的测试时间被单个测试任务所占据, 降低了测试效率。所以, 需要借鉴云测试的思想, 综合利用云测试系统中的云计算、虚拟化、动态资源管理等相关技术, 实现测试资源的共享和动态管理, 并设计出一套基于云测试的自动测试系统的体系架构, 为日后平台的搭建打下基础。

## 3 基于云测试的 ATS 硬件模型

本文研究的基于云测试的自动测试系统硬件模型如图 3 所示, 主要包括自动测试设备和智能测试终端 (intelligent test terminal) 两部分。

智能测试终端: 由于提出的基于云测试的自动测试系统要求测试资源的共享性、测试过程的实时性检查以及测试设备的经常性维护、升级, 根据文献 [1] 的方法, 采用了客户端/服务器 (C/S, client/server) 和浏览器/服务器 (B/S, browser/server) 的综合模式; 智能测试终端的用户与 ATE 之间的通讯网络主要依靠两者之间基于交换机组建的局域网; 智能传感器在对故障装备进行测试时, 将测得的故障信号和自身的 TEDS 信息通过信号线、地线和 TEDS 线, 经开关/调理资源传输给 ATE 中的测试资源和测试控制计算机资源里的测试程序。

自动测试设备主要包括以下几部分:

1) 测试控制计算机资源 (computer control testing resource): 是 ATE 的核心资源, 是 ATE 操作系统的硬件载体, 自动测试系统中的测试程序就是通过运行在计算机的操作系统

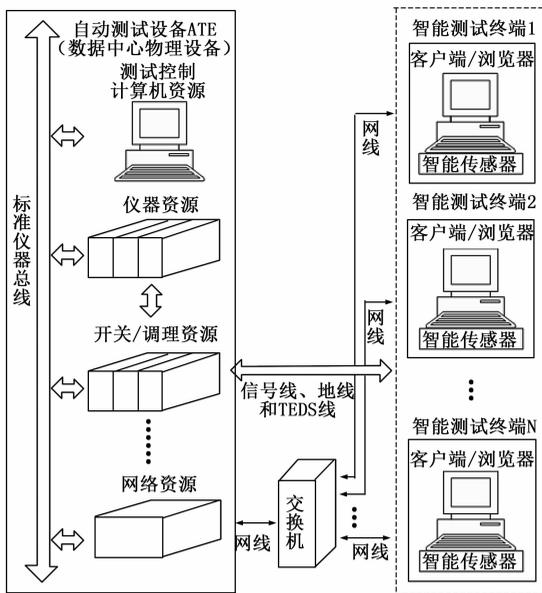


图 3 基于云测试的自动测试系统硬件模型

上,实现对 ATE 上测试资源,开关/调理资源的有序管理,故障信号的自动检测以及软件界面和测试数据的直观显示等功能。

2) 标准仪器总线 (normal instrument bus): 是 ATE 中各种资源间进行通讯的公共线路,通过标准仪器总线,实现了测试控制计算机资源与其它资源间的控制与通讯,常用的标准仪器总线主要有 GPIB 总线、VXI 总线、PXI 总线以及 LXI 总线。

3) 仪器资源 (instrument resource): 负责提供测试所需要的各种仪器设备,主要包含采集设备、激励设备和电源设备。这 3 种主要设备的具体描述如表 1 所示。

表 1 采集、激励和电源设备具体描述

设备	具体描述
采集设备	用于采集各类测试信号,主要包含各种模块化的可编程测试仪器,如信号采集卡、万用表、示波器、A/D 转换器等;
激励设备	用于为智能测试终端中的被测对象、传感器提供所需的激励信号,主要包含信号发生器、D/A 转换器等;
电源设备	用于为 ATE、智能测试终端提供正常工作所需的交、直流电。

4) 开关/调理资源 (switch/toning resource): 开关资源提供 ATE 中仪器资源和测控计算机资源与智能测试终端间测试信号和传感器 TEDS 信息的有效传输通道。由于测控计算机资源、仪器资源中的任意仪器设备与任意智能测试终端  $i$  ( $1 \leq i \leq N$ ) 之间均存在联系的可能,因此在测试过程中,在测试程序的控制下,自动配置开关资源的连接通道。调理资源可完成对被测信号的调理功能,在测试过程中,通过开关资源内配置好的连接通道,实现被测信号和对应调理资源间的连接。

5) 网络资源 (network resource): 主要包括网络服务器、网络工作站、网卡、网络互联设备等资源,ATE 与智能测试

终端里的计算机设备依托这些资源,通过交换机等网络设备组建了 ATS 内部的封闭型局域网,实现不同设备之间的互联互通和资源共享。

基于以上硬件资源,基于云测试的自动测试系统通过标准仪器总线将测试控制计算机、仪器、开关、调理以及网络等资源集成于一体,在解析经由局域网传输过来的智能测试终端测试需求的基础上,通过计算机中测试程序的控制,自动配置开关/调理资源,使仪器资源完成对故障装备的激励和检测任务。

#### 4 基于云测试的 ATS 软件模型

对于 ATS 测试程序平台及配套系统的设计而言,建立其模型,就是为测试程序的运行制定规范和标准,为测试程序的开发设计一个合理的框架<sup>[6]</sup>。基于云测试的 ATS 软件模型如图 4 所示,主要包括以下几部分:

1) 智能测试终端信息库 (intelligent test terminal information storeroom): 主要包含智能测试终端内的计算机资源、传感器和被测对象的各类相关信息,供测试系统的测试需要。其中,传感器和被测对象各分为用于信息获取和信号测试两部分:

① 信息获取:“传感器 TEDS 信息资源模块”和“被测对象信息资源模块”作为测试程序运行所需的信息源;

② 信号测试:“被测对象故障测试模块”和“传感器测试资源模块”作为仪器设备检测故障信号的实际装备和传感器测试部分。

在智能测试终端信息库中,用户的操作主要有以下几步:

① 用户通过“人机交互界面模块”对测试程序进行直观操作;

② 在了解测试程序后,用户将自身的“客户测试需求”写入“客户端/浏览器模块”;

③ “客户端/浏览器模块”根据测试需求,生成“被测对象信息资源模块”,进而指导测试进程。

2) 测试需求/策略文档系统 (test requirement/ strategy document system): 该系统中的各类文档的主要作用是记录下不同时刻的 ATE 性能、故障分析、信号测试和资源调度的行为和状态,便于 ATS 更好地为用户提供测试服务以及查找故障。这些文档包括:

① 通过对 ATE 自身性能的测试分析,生成了“ATE 性能文档”;

② 通过对“UUT 测试结果”中存在的故障信息进行诊断分析,生成了“故障诊断文档”,进而研究相应的诊断策略,从而生成“故障诊断策略文档”;

③ 通过研究由传感器 TEDS 信息中特征参数和 UUT 自身信息生成的“特征参数文档”和“UUT 信息数据文档”,分析出 UUT 的测试需求,生成了“UUT 测试需求文档”,进而研究相应的测试策略,从而生成“UUT 测试策略文档”;

④ 通过研究由传感器 TEDS 信息中由信号调理信息生成的“调理信息文档”和“UUT 测试需求文档”,分析 ATE 中测试资源的闲置情况和 UUT 的测试需求情况,从而生成可用于指导“诊断测试程序”进行动态资源管理的“资源闲置/测试需求文档”。

3) 测试程序集开发系统 (test program set empolder system): 该开发系统是基于 STD (signal and test definition

standard, 信号与测试定义标准) 标准<sup>[7]</sup>, 面向信号设计测试程序集的开发、维护平台, 主要开发自我测试程序、诊断测试程序、资源调度程序和信号测试程序。

① 自我测试程序生成反映 ATE 实时性能的“状态检测结果”文档;

② 诊断测试程序给出反映装备故障具体信息的“故障诊断结果”文档;

③ 资源调度程序依据“资源闲置/测试需求文档”生成反映测试资源调度方案的“资源调度结果”文档;

④ 信号测试程序生成反映 UUT 状态的“UUT 测试结果”文档和反映被测装备实时信号测试数据的“测试数据实时存储”文档; 而且, 通过控制系统可将信号指令转换为实际的物理信号, 在不涉及操作任何物理信号资源的前提下, 实现了虚拟资源与物理资源的匹配和映射。

4) 资源管理库 (resource manage storeroom): 资源管理库是 ATS 软件模型中的重要组成部分, 是测试程序功能与 ATE 资源功能实现的关键一环。ATE 资源管理程序主要包括系统管理与维护程序、仪器管理与配置程序、网络管理与连接程序、开关闭合与断开程序、存储管理与更新程序、任务动态调度程序和任务自动解析程序, 负责生成相应的基于 ATML 语言编写的数据库, 即数据资源库、开关资源库、网络资源库等, 方便控制系统在接收到信号测试程序需求指令后对 ATE 资源进行自动查找、访问和配置。

器驱动程序通讯的唯一中间环节, 是实现测试系统软件移植性和系统互操作性的关键。

6) 仪器驱动库 (instrument driver storeroom): 仪器驱动库中的仪器驱动 (DRV, instrument driver) 主要包括 VPP、IVI 和 IVI-MSS 三种驱动程序<sup>[8]</sup>, 是介于控制系统与仪器设备之间, 作为控制系统向仪器设备传递操作指令的接口; 通过库中的仪器驱动, 控制系统完成了测试程序对具体仪器设备的所有操作。

由图 4 分析知, 为了组建该软件模型必须解决的关键技术主要有以下几点:

1) 为了实现测试终端智能化, 利用 TEDS 技术实现其信息库中信息的自动读取;

2) 为了增强测试程序的可移植性, 基于 STD 标准设计测试程序开发系统;

3) 为了方便用户更好地查看测试结果, 也为了系统管理人员更加及时地发现 ATS 存在的潜在故障, 并加以排除, 采用测试文档的形式, 详细记录下测试的具体流程;

4) 为了使系统查找、访问和配置测试资源时更加准确、快捷, 将物理资源虚拟化为可以统一管理的逻辑资源, 并在此基础上, 设计针对测试资源的动态调度算法;

5) 为了提高仪器设备的互换性, 采用 IVI、VPP 等规范实现仪器驱动层的互操作。

### 5 结论

本文在充分分析云测试系统和现有自动测试系统的基础上, 研究了面向信号测试领域的云测试系统的体系架构, 通过云测试技术和自动测试系统的结合, 设计了基于云测试的自动测试系统的软、硬件模型, 同时还充分考虑了软件移植性、硬件可互换性和系统互操作性, 有效减少了测试资源的测试周期, 提高了其测试资源的利用率, 实现了共享测试资源的目的。下一步, 将研究重点集中于能够进一步提高 ATS 测试资源利用效率、减少测试周期和改善测试资源共享的关键技术上, 从技术上进一步完善基于云测试的自动测试系统。

### 参考文献:

[1] 刘福军, 孟 晨, 孙香冰, 等. 开放式网络化自动测试系统体系结构研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (11): 2603-2606.  
 [2] 罗军舟, 金嘉晖, 宋爱波, 等. 云计算: 体系架构与关键技术 [J]. 通信学报, 2011, 32 (7): 3-21.  
 [3] 潘 慧, 朱信忠, 赵建民, 等. 基于 Hadoop 云测试体系架构的设计 [J]. 计算机工程与科学, 2013, 35 (10): 72-78.  
 [4] 李 乔, 柯栋梁, 王小林. 云测试研究现状综述 [J]. 计算机应用, 2012, 29 (12): 4401-4406.  
 [5] 孟 晨, 何 英. 基于 VXI 总线的自动测试与故障诊断系统设计 [J]. 电力自动化设备, 2002, 22 (3): 59-60.  
 [6] 方 丹. 军用自动测试系统并行测试建模技术研究 [D]. 石家庄: 军械工程学院, 2012.  
 [7] 路 辉. 自动测试系统测试描述语言 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.  
 [8] 刘福军, 孟 晨, 孙香冰, 等. 面向服务的军用 ATS 软件体系结构设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (7): 1774-1777.

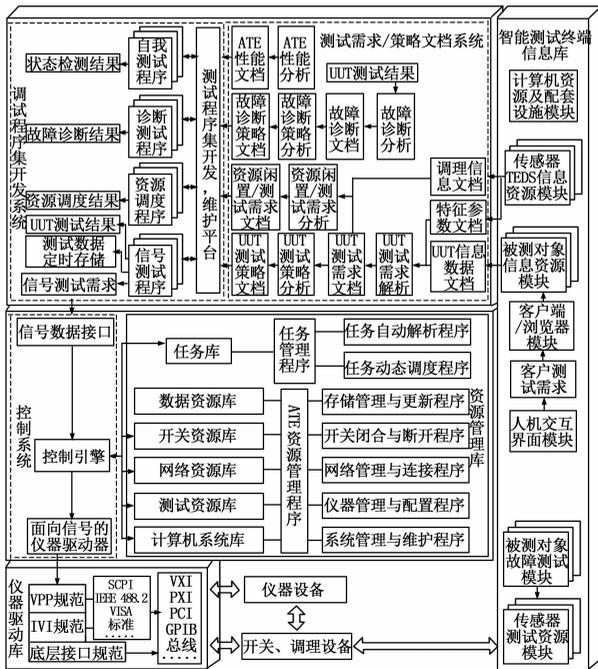


图 4 基于云测试的自动测试系统软件模型

5) 控制系统 (control system): 作用主要是将信号测试程序分析出的 UUT 的测试需求转化为对仪器驱动程序的指令, 进而控制实际的仪器设备对 UUT 进行测试, 满足 UUT 的测试需求。控制系统中的控制引擎作为测试程序与仪