

基于 Selenium 的自动化测试框架技术研究

张 飞^{1,2}, 韦亚军^{1,2}

(1. 南京国图信息产业有限公司, 南京 210000;

2. 北京超图软件股份有限公司, 北京 100015)

摘要: 为解决 Web 应用软件在快速迭代开发模式下面临的测试效率低下、质量难以保证等问题, 研究基于 Selenium 自动化测试工具, 采用数据驱动模式和 PO 框架思想, 设计并开发了一款全新的自动化测试框架; 该框架通过分层设计实现了测试数据、页面元素与脚本的分离, 提升了脚本复用性和维护性, 并针对验证码识别和特殊元素定位等技术难题, 提出了基于 OCR 自动识别和图像匹配定位技术解决方案, 增强了框架的适应性和扩展性; 研究结果表明, 该框架能够显著节约人力成本, 提升测试工作效率, 可以有效保障在频繁迭代交付下的软件质量。

关键词: Selenium; Web; 软件测试; 测试工具; 自动化测试框架

Research on Selenium-Based Automated Testing Framework Technology

ZHANG Fei^{1,2}, WEI Yajun^{1,2}

(1. Nanjing Guotu Information Industry Co., Ltd., Nanjing 210000, China;

2. Beijing SuperMap Software Co., Ltd., Beijing 100015, China)

Abstract: In order to solve low test efficiency and difficulty in ensuring the quality of Web application software in a rapid iterative development mode, a new automatic testing framework is designed and developed based on the Selenium automated testing tool, data-driven mode and PO framework. The framework realizes the separation of test data, page elements and scripts through hierarchical design, and improves the reusability and maintainability of scripts. Aiming at technical problems such as verification code recognition and special element positioning, a solution based on optical character recognition (OCR) automatic recognition and image matching positioning technology is proposed, which enhances the adaptability and scalability of the framework. Research results show that the framework can significantly save labor costs, improve test efficiency, and effectively guarantee software quality under frequent iterative delivery.

Keywords: Selenium; Web; software testing; test tool; automated testing framework

0 引言

软件测试作为软件开发周期中一项重要的质量保证措施, 能够有效识别出软件的缺陷或错误, 并将实际结果与预期结果进行对比, 验证软件是否符合需求规格说明书的要求, 从而协助开发人员及时修正问题, 确保软件的质量和可靠性^[1-3]。随着软件规模和复杂度的增加以及迭代增量开发模式的广泛普及, 软件开发和测试周期被不断缩短, 为确保迭代更新不会对已有的软件功能产生影响, 测试人员需要在短期内进行大量的回归测试, 这种高频率的测试活动不仅导致人力和时间成本急剧增大, 也增加了测试质量的风险。为此, 越来越多的企业开始转向自动化测试技术的应用, 以替代传统的手

工测试方式^[4-6]。

自动化测试是使用自动化测试工具和框架完成相应业务流的脚本设计, 运行并判断其产生的实际结果是否与预期一致, 将人为驱动的测试行为转化为机器执行的过程, 这种方式可以显著提高测试效率, 在短期内执行大量测试用例, 尤其在迭代开发模式下, 能够快速响应变化, 降低人为错误的可能性。实现自动化测试技术应用除了选择合适的自动化测试工具外, 还需要构建一个高效且稳定的框架, 降低自动化测试的运行成本, 提高测试脚本的复用性和稳定性, 使得维护工作变得更加容易, 最大化地发挥自动化测试的优势。本文的主要研究内容是基于 Selenium 工具, 设计并开发了一款适用于 Web 应用软件的自动化测试框架, 并对其中关键技术

收稿日期:2024-09-14; 修回日期:2024-10-30。

作者简介:张 飞(1984-),男,大学本科,高级工程师。

通讯作者:韦亚军(1990-),男,硕士,高级工程师。

引用格式:张 飞,韦亚军. 基于 Selenium 的自动化测试框架技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(10):23-29.

难点进行研究。

1 自动化测试框架技术工作原理

1.1 自动化测试工具

在软件自动化测试工作中, 自动化测试工具占据着核心地位。选择合适的自动化测试工具对产品进行测试不仅能够显著提高测试效率, 还能有效保证产品的质量, 确保软件开发流程更加顺畅高效。这些工具通过模拟用户操作、执行重复性测试任务以及提供详尽的测试报告, 帮助测试人员快速定位问题。目前, 国内外主流的自动化测试工具主要分为开源工具与商业工具两大类, 如表 1 所示。

表 1 自动化测试工具

参数	Selenium	KatalonStudio	QTP
可测应用	Web	Web、APP	Web、APP
开源/商业	开源	开源	商业
支持平台	Windows、Linux、MAC	Windows、Linux、MAC	Windows
支持语言	Java、Python、Ruby、Perl、PHP 等	Java、Groovy	VBScript
支持浏览器	Chrome、Firefox、IE 等	Chrome、Firefox、IE	IE

根据当前市场上的项目预算分配情况和趋势, 购买或更新商业自动化测试工具许可证的成本往往非常高昂, 有时甚至会超出既定的预算限制。在这种情况下, 转向开源自动化测试工具成为一个极具吸引力的选择。在众多开源工具中, Selenium 因其广泛的应用范围以及丰富的资源库和持续更新的支持文档, 带来了极大的灵活性与成本效益, 有助于测试团队解决使用过程中遇到的各种问题。

1.2 Selenium 工作原理

Selenium 是一款广泛应用于 Web 应用软件的开源自动化测试工具, 支持在 Windows、Linux、MacOS 平台以及 Chrome、Edge、IE 等主流浏览器中运行, 可以使用 Python、PHP、Ruby 等编程语言进行编码, 通过模拟用户的操作行为并返回操作结果^[7-11]。支持分布式执行测试, 可以在多台机器上并行执行测试用例, 从而提高测试工作效率。通过 Selenium 实现自动化测试主要包括自动化测试脚本、浏览器驱动和浏览器三部分内容, 其中自动化测试脚本包含了对浏览器界面操作的各种期望, 如单击、结果验证等, 通过向浏览器驱动发送指令, 根据这些指令驱动浏览器执行操作, 操作结束后将结果返回给驱动, 驱动再返回给测试脚本。Selenium 工作原理如图 1 所示。

1.3 自动化测试框架

自动化测试框架是自动化测试规范、测试脚本以

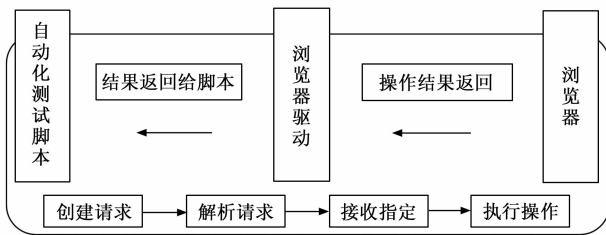


图 1 Selenium 工作原理

及测试思想的集合, 是为了实现代码重用、统一规范和管理、提高脚本生产效率而设计的具有一定约束性的支撑结构, 在自动化测试项目中起着至关重要的作用。自动化测试框架大致经历线性框架、数据驱动框架、关键字驱动框架、PO 模式框架和混合型框架 5 个发展阶段^[12-16]。

1) 线性框架。线性框架是指按照测试用例步骤在工具中以线性方式编写脚本, 手动记录每个步骤并自动回放脚本。由于测试数据和脚本混合在一起, 导致每个测试用例都需要编写对应的脚本, 当软件功能发生变化时, 原有的脚本通常不能正常使用, 需要重新编写脚本、设置测试数据, 脚本复用性差, 如图 2 所示。

```

1: 'Login to the Application
2: Browser("Br").Page("Pg").WebEdit("UserName").Set "abc"
3: Browser("Br").Page("Pg").WebEdit("Password").Set "abc"
4: Browser("Br").Page("Pg").WebButton("Login").Click
5: Browser("Br").Page("Pg").Sync
6:
7: 'Code for create order
8: .....
9: .....
10:
11: 'Logout
12: Browser("Br").Page("Pg").Link("Logout").Click
    
```

图 2 线性框架脚本示例

2) 数据驱动框架。数据驱动框架是将测试数据和脚本分离设计, 数据存储在外部文件中, 测试脚本通过访问外部文件、解析、获取数据。如图 3 所示, 该框架支持同一个脚本执行多组不同的测试数据, 解决由于测试场景增加而导致需同步修改脚本的问题。

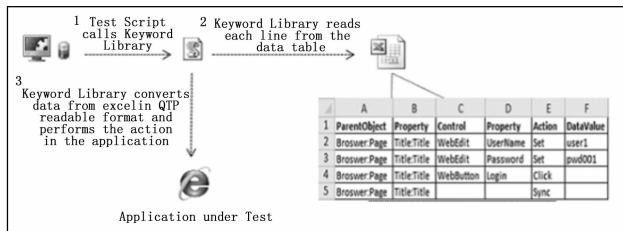


图 3 关键字驱动框架原理

3) 关键字驱动框架。关键字驱动框架是数据驱动框架的扩展, 进一步将测试脚本中的业务逻辑剥离并设置关键字, 形成一个由数据关键字和业务逻辑关键字组

合的脚本, 实现脚本与数据、元素与对象、逻辑与数据分离, 该框架优势是关键字可以在多个测试用例中复用, 但维护成本非常大。

4) PO 模式框架。PO 模式框架是将页面元素与元素操作方法进行分离, 实现对页面元素的独立管理。在 PO 模式下设计的框架页面元素定位明确, 测试人员可以对元素和元素操作方法自由组织编写脚本, 即使后期前端页面变化, 其脚本维护也十分方便, 页面元素和操作逻辑的复用性非常强。

5) 混合型框架。在实际的自动化测试项目中, 为了能够充分、便捷地复用已经实现的测试用例或测试结果, 支持后期测试工作, 需要开发一个适合实际项目的框架, 于是就出现了混合型自动化测试框架。

2 测试框架分析与设计

2.1 测试过程分析

自动化测试项目与传统的软件开发项目一样, 具有完整的开发周期和过程, 主要采用快速应用程序开发 (RAD, rapid application development) 模式进行开发, 包括测试流程、核心实现、成果输出共 3 部分。其中自动化测试流程包括分析需求、制定计划、部署环境、设计测试用例、开发脚本、执行脚本、跟踪 Bug 以及脚本维护等工作环节, 每个环节都有对应的方法或工具, 如脚本执行环节可以采用持续集成工具, 实现持续构建自动化测试任务。通过完成每个环节的任务, 形成相应的成果, 共同构建了自动化测试全部过程。自动化测试过程分析如图 4 所示。

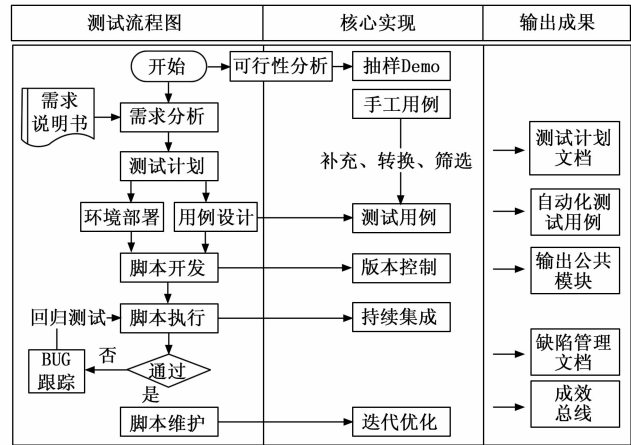


图 4 自动化测试过程分析

2.2 测试框架需求分析

2.2.1 功能需求分析

分析并明确自动化测试框架需求是设计好框架的关键步骤。本文设计的自动化测试框架从用户界面测试角度出发, 满足了 Web 应用软件自动化测试需求, 可以帮助测试人员快速、高效地完成测试脚本开发, 自动生

成清晰、直观的测试报告, 并对结果进行统计和分析, 主要包括测试用例管理、测试执行、图像处理、日志报告和工具集成等功能模块, 如表 2 所示。

表 2 框架功能模块

模块	功能描述
用例管理	结合数据驱动和关键字驱动的思想,对元素和方法进行封装与扩展,支持创建新的测试用例或对已有用例修改、保存等。
测试执行	支持批量、分布式、并发式、定时触发多种用例执行方式,满足执行和管理的需求。
图像处理	引入并集成 OCR 自动识别和图像匹配定位技术,解决登录系统动态验证码识别和特殊元素定位难的问题。
日志报告	测试执行后能够生成易于阅读且详尽的测试报告,包括测试结果统计、日志信息和异常快照,方便测试人员快速定位存在的问题。
工具集成	集成第三方工具,如钉钉、企业微信、邮件等,测试结束后将测试报告发送给测试人员与开发人员,实现协同开发模式。

2.2.2 非功能需求分析

自动化测试框架设计除了需要对功能需求进行分析外, 还应充分考虑非功能性需求^[17]。非功能性需求通常包括框架可维护性、可扩展性、兼容性、性能设计以及安全性等方面, 这些因素对支撑框架能够长期稳定运行起着至关重要的作用。

1) 可维护性: 框架代码组织结构应该有利于未来维护和升级, 可独立开发、测试和部署, 同时提供详尽的说明文档, 确保测试人员可以理解和修改测试框架。

2) 可扩展性: 随着 Web 应用软件在不断迭代变化, 测试框架应能够轻松适应新的功能需求和技术变化, 并支持在框架基础上扩展升级。

3) 兼容性: 框架不仅需要支持在不同操作系统和硬件上运行, 还需要支持在不同浏览器上执行, 并得到正确一致的结果。

4) 性能设计: 框架在批量、并发执行测试用例时, 响应时间应该控制在合理范围内, 对系统资源 (如 CPU、内存) 的消耗应该最小化, 从而充分发挥自动化测试的价值。

5) 安全性: 包括数据保护和访问控制, 确保测试过程使用的任何敏感数据都可以受到保护, 且只有被授权的用户才能访问和修改。

2.3 测试框架总体设计

根据对自动化测试流程和测试框架需求的分析, 框架设计以 Selenium 为基础框架, 结合数据驱动设计模式和 PO 框架设计思想, 遵循易于维护、灵活扩展和安全性高原则, 设计了一款基于 Selenium 的全新自动化测试框架。框架将测试数据、页面元素与脚本进行分离, 实现对测试数据、页面元素和脚本独立管理, 并对

公共业务、操作方式、方法进行提取封装，提高了测试脚本的复用性，可以有效地简化脚本，降低维护成本。同时，框架集成版本控制工具 SVN 方便后期对测试框架代码的统一管理和维护，集成持续集成工具 Jenkins 实现了持续集成的自动化测试，集成 Allure 工具生成易于阅读、分析的测试报告，集成企业微信、电子邮件等通信工具对执行全过程和结果的即时反馈。

基于 Selenium 自动化测试框架采用分层设计，包括公共基础层、页面元素层、测试用例层、数据分离层和表现层等五层，同时设计一个统一的执行入口，只需要执行主程序入口、新增测试用例层的用例和数据分离层的数据，其他层进行封装即可，框架总体设计分层结构如图 5 所示。

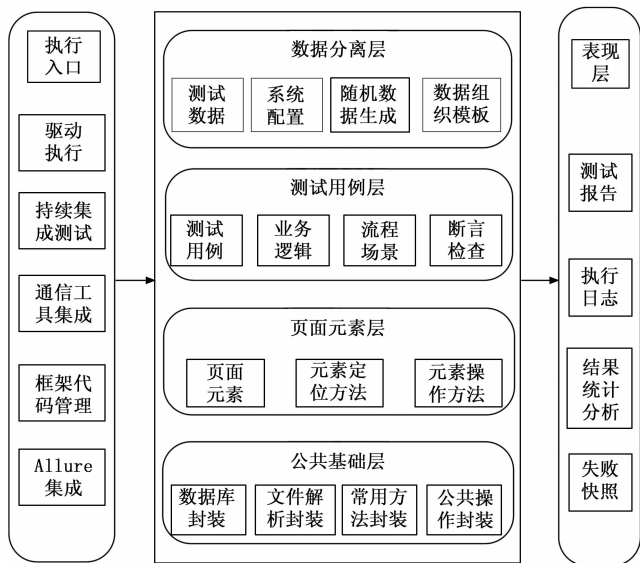


图 5 测试框架分层结构图

1) 公共基础层。该层主要对一些公共的操作和方法进行封装，如数据库操作方法封装、文件解析封装、常用方法封装、公共操作封装、常用基础类封装以及第三方工具调用封装等，为测试框架的高效运行提供基础支撑。

2) 页面元素层。主要用于管理页面对象，以被测试系统的每个页面为单位，将其所有元素封装在一个页面对象类中，即使后期前端页面发生变化，其脚本维护也十分方便。

3) 测试用例层。根据业务逻辑和流程场景设计相应的测试用例，通过设置断言判断用例执行结果是否与预期结果一致。用例执行通过执行入口统一完成，可以灵活地组织测试用例执行方式和输出结果。

4) 数据分离层。将测试数据、系统配置参数等提取出来形成单独的数据管理模块，后期只需要修改相应数据即可，不需要查看底层代码。

5) 表现层。该层主要展示自动化测试过程和结果，包括测试报告、执行日志、失败快照以及结果统计分析，测试人员和开发人员可以通过表现层对本轮测试情况进行评估、定位缺陷发生的位置。

2.4 测试框架基础环境

实现自动化测试框架需要有一个稳固的基础环境作为支撑，以确保该框架能够顺利应用于各种自动化测试项目中^[18-20]。如表 3 所示，自动化测试框架基础环境包括开发环境、测试环境、配置环境和集成环境。其中开发环境集成了 PyCharm 作为 IDE（集成开发环境），并采用 Python 语言进行框架和测试脚本的编码；测试环境选用 Selenium 作为 Web 自动化测试工具，并使用 pytest 作为测试框架来管理测试用例；配置环境中包含了 Edge、Chrome、Firefox 等主流浏览器相应的驱动程序，同时使用 SVN 工具对框架代码和测试脚本版本进行统一控制和管理，配置了 Allure 工具生成测试报告，Allure 生成的测试报告在用户体验、数据可视化、历史记录追踪和趋势分析等方面相较于其他类型的测试报告具有显著优势；集成环境主要部署了 Jenkins 作为持续集成工具，集成了企业微信、电子邮件等通信工具，实现全过程跟踪测试进程和即时上报测试结果。

表 3 测试框架基础环境

基础环境	工具	说明
开发环境	Python	实现测试框架、脚本的开发
	PyCharm	Python 的集成开发环境
测试环境	Selenium	Web 自动化测试工具
	pytest	管理自动化测试用例
配置环境	driver	浏览器驱动、文件解析驱动
	SVN	版本控制工具
	Allure	生成测试报告
集成环境	Jenkins	实现持续集成自动化测试
	通信工具	全过程跟踪、上报测试结果

3 试验结果与应用分析

3.1 关键技术研究

为满足更多的测试场景和测试用例设计需求，更大程度地提高框架代码和测试脚本的可维护性、可扩展性和兼容性，在实现框架基础功能基础上，本文对验证码识别、图像匹配定位等关键技术难点进行了研究，并提出了解决方案。这些研究成果为框架在更多自动化测试项目中的成功应用提供了坚实的技术支撑。

3.1.1 验证码识别技术

Web 应用软件在设计时通常会选择验证码识别机制来验证用户身份，防止恶意攻击或暴力破解，从而增强系统安全性，但这一机制对测试人员来说是一个难点，过去主要通过临时禁用该机制来确保自动化测试的

正常执行^[21-22], 但这无疑降低了测试环境的安全性, 并且可能影响到对真实用户体验的模拟。为解决这一难题, 提出了采用 OCR 自动识别技术对验证码进行识别处理的解决方案。

OCR (Optical Character Recognition, 光学字符识别) 技术能够将图像中的文字转换成计算机可读的形式, 这使得它成为解决验证码识别问题的理想选择。如图 6 所示, 首先利用 Selenium WebDriver 定位页面上的验证码元素, 并通过 WebDriver 提供的接口截取包含验证码的屏幕快照; 接着使用 Pillow 库对快照进行处理, 裁剪出验证码的具体区域图片并做降噪和锐化等预处理工作, 便于更准确地识别文本; 然后通过 Python 的 Image 库加载经过预处理的图片, 并调用 Tesseract OCR 引擎来解析图片中的验证码字符, 当解析完成获取到 OCR 返回的结果后, 就可以将其作为输入提交给 Web 表单, 实现验证码校验的过程; 最后清理快照、截图等临时文件, 同时继续执行剩余的测试用例, 确保整个自动化测试流程的连贯性和完整性。

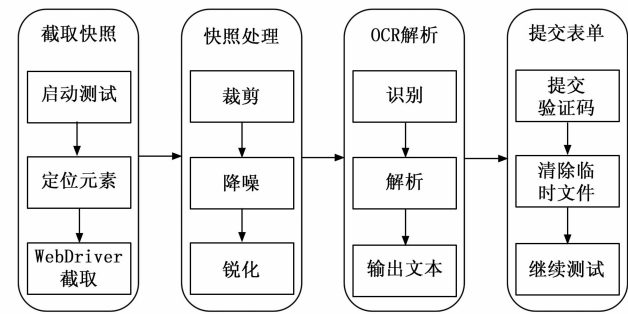


图 6 OCR 识别验证码过程

3.1.2 图像匹配定位技术

在软件自动化测试中, 元素定位是一项基础且至关

重要的任务, 准确识别并定位页面元素是执行交互操作的基本前提。尽管 Selenium 工具提供了包括 CSS 选择器、关键字定位、By 接口及 XPath 等多种元素定位方法^[23-24], 但随着技术的发展和用户体验需求的不断变化, 这些传统定位方法在面对日益多样化和复杂化的 Web 界面时, 局限性日益明显, 如在处理动态生成的内容、元素缺乏唯一标识符或频繁变动的元素属性时, 传统的定位方法往往难以满足需求。

为解决这一问题, 本文提出了一种基于图像匹配的技术来辅助进行元素定位。该方法通过比较、匹配屏幕截图与预设模板图像之间的相似度来确定目标元素的具体位置。实施步骤如下:

- 1) 截取快照: 利用 Selenium 提供的 save_screenshot() 函数捕捉当前浏览器窗口的画面, 生成屏幕快照。
- 2) 创建识别对象: 初始化一个快照识别处理类的对象, 进行快照处理分析。
- 3) 获取坐标信息: 加载模板图片, 并将屏幕快照与模板图片对比, 寻找匹配区域, 返回该区域的坐标信息。
- 4) 执行交互动作: 根据找到的位置坐标信息, 使用 Selenium 的相关 API 模拟用户的点击或其他操作行为。

3.2 自动化测试框架应用

目前, 本文设计的自动化测试框架已经在超图软件集团自然资源产品线的相关产品成功应用, 并结合持续集成技术, 实现了从应用更新、获取、部署、测试到结果上报全过程的持续集成技术自动化测试。如图 7 所示, 以“多测合一”信息管理平台为例, 该平台主要是将过去建设工程行政审批中涉及的各类测绘业务合并为

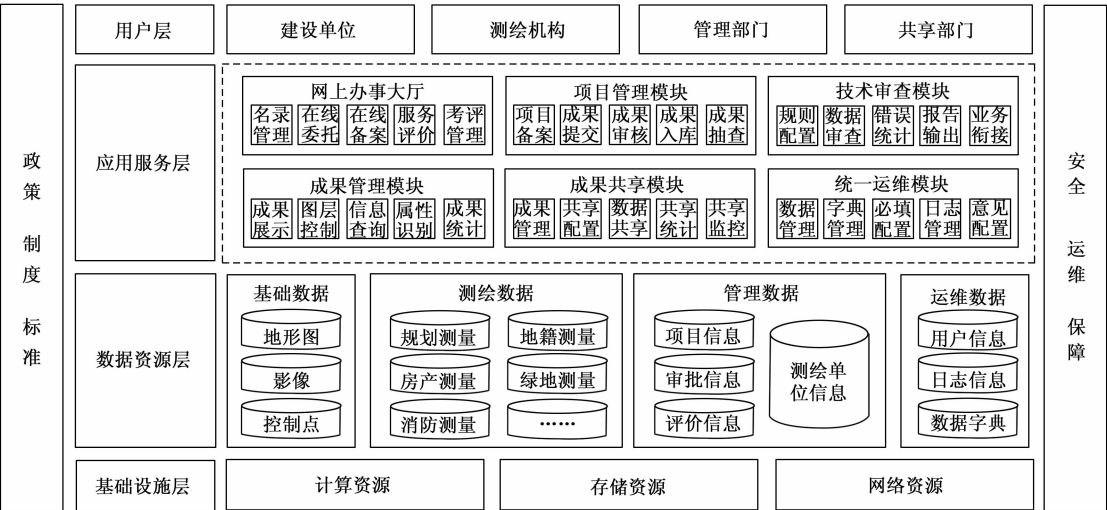


图 7 “多测合一”信息管理平台架构

一个综合性联合测绘项目，以一次委托、联合测绘、成果共享为目标，为建设单位、测绘单位和管理部门提供“多测合一”项目全流程在线办理以及项目成果的综合管理，实现各部门间测绘成果的互联互通、数据共享等。平台应用包括办事大厅、项目管理、技术审查、成果管理、成果共享、统一运维 6 个功能模块。

在自动化测试框架应用前，该平台主要采用传统的手工测试为主，涉及各类功能测试用例 750 个。现对该平台自动化测试需求进行分析，制定自动化测试方案，对所有功能测试用例进行归纳和分类，并基于本文设计的自动化测试框架完成脚本设计和开发，包括业务流脚本和共享脚本，其中业务流脚本主要围绕平台功能业务逻辑流实现，共享脚本主要为各业务流脚本提供公共处理方法，脚本设计和开发如图 8 所示。

脚本类型	脚本编号	脚本名称	脚本类型	脚本编号	脚本名称
业务流脚本	0101	线上发布测绘业务	共享脚本	000101	新增项目
	0102	新增项目验证		000102	查看项目
	0103	项目撤回再委托		000201	新增备案
	0104	项目拒绝再委托		000301	我要咨询
	0105	项目删除		000302	回复
	0106	未竞价项目终止		000401	测绘单位注册并登入
	0107	已竞价项目终止		000402	填写机构信息
	0108	接受委托		000403	查看从业人员信息
	0109	撤回未打开委托后再次委托		000404	查看机构信息
	0110	撤回已打开委托		000405	查询我的待办机构信息
	0111	删除委托		000406	查询我的已办机构信息
	0112	拒绝委托		000407	查看管理单位考评记录
	0113	新增委托必填项未填		000408	查看变更记录
	0201	线下测绘业务		000409	查看操作
	0202	新增备案必填项未填写及删除		000410	填写从业人员信息
	0203	备案列表挂起解挂		000501	新增委托
	*****			*****	

图 8 脚本设计和开发

3.3 应用成效分析

引入自动化测试主要是通过提升测试人员的工作效率，使测试工作变得简单高效，从而达到节约人力成本的目的。在“多测合一”信息管理平台的自动化测试项目实践中，为了更客观、科学地对比采用自动化测试前后的测试工作效率情况，结合功能测试用例分别进行 5 轮测试，以这 5 轮测试的平均执行时间作为基准进行比较，结果如表 4 所示。

表 4 不同测试方法执行测试结果对比

测试方法	用例数/个	花费时间/h
手工测试	750	60~65
基于本文框架的自动化测试	750	3.2

从表 4 可以看出，与传统手工测试相比，基于本文框架的自动化测试能够显著缩短测试周期，从而提升测试工作的效率。随着回归测试次数的增加，自动化测试的应用成效会更加明显。此外，通过不断地实践和应用，并与以往传统的自动化测试框架进行比较和评估，本文设计的基于 Selenium 的自动化测试框架在可维护性、可扩展性、兼容性、性能设计以及安全性方面均展现出明显的优势，如表 5 所示。

表 5 不同框架应用评估

框架类型	可维护性	可扩展性	兼容性	性能设计	安全性
手工测试	×	×	×	×	×
线性框架	✓	×	×	×	×
数据或关键字驱动框架	✓	✓	×	×	×
PO 模式框架	✓	✓	✓	×	×
混合型框架	✓	✓	✓	×	×
基于 Selenium 的自动化测试框架	✓	✓	✓	✓	✓

4 结束语

本文基于 Selenium 工具设计并开发了一款高效、稳定且易用的自动化测试框架，通过数据驱动模式和 PO 框架思想实现了测试数据、页面元素和脚本的分离，提升了脚本的复用性和维护性。结合持续集成技术，实现了 Web 应用软件从更新获取、应用部署、异常处理、报告评估全过程无需人工干预的目标，并对验证码识别、元素定位等难题深入研究，形成了 OCR 验证码自动识别和图像匹配定位技术解决方案，增强了框架的兼容性和扩展性。试验结果表明，在该框架下开展的自动化测试可以显著缩短测试周期，提升测试工作效率，满足软件在频繁迭代交付下的高质量要求。随着 Web 技术的不断发展，复杂验证码的识别能力和图像处理算法效率还需不断优化，框架性能设计和安全性需进一步完善，以适应未来测试需求的变化，持续为软件质量保障工作提供坚实的技术支撑。

参考文献：

[1] 张清睿, 黄松, 孙乐乐. Web 功能自动化测试综述[J]. 软件导刊, 2023, 22 (3): 227-236.

[2] 王旭. 计算机软件测试技术与开发应用研究[J]. 工程技术创新与发展, 2023, 1 (2): 12-15.

[3] 陈静, 魏强, 武泽慧, 等. REST API 自动化测试综述[J]. 计算机应用研究, 2024, 41 (2): 321-328.

[4] 彭新宇. 基于 Selenium 的 Web 自动化测试框架研究与实现[D]. 廊坊: 北华航天工业学院, 2021.

[5] ANDREIMIHAI V, LIVIUCRISTIAN M. Software testing techniques for improving the quality of smart-home IoT systems[J]. Electronics, 2023, 12 (6): 1337.

[6] 王骏美, 郑东霞, 房颖. 基于 OBE 的软件测试实践能力培养[J]. 计算机教育, 2024 (4): 27-32.

[7] 梁俊. 基于 Selenium 和 TestNG 的自动化测试框架的设计与实现[D]. 济南: 山东科技大学, 2018.

[8] 王新月, 王奚, 李航, 等. 基于 python 的 SCADA 与西门子 PLC 数据读写自动化测试实现[J]. 计算技术与自动化, 2022, 41 (1): 23-27.

- [9] 欧洁. 基于 QTP 的软件自动化测试框架的设计及应用 [D]. 北京: 中国科学院大学 (工程管理与信息技术学院), 2014.
- [10] 黎晖, 于宏宇, 张绍平, 等. 基于框架的 Web 服务软件自动化测试技术 [J]. 兵工自动化, 2024, 43 (8): 43-46.
- [11] 汪 瀚, 武仲芝, 唐 剑. 面向民用飞机需求验证的自动化测试技术研究 [J]. 图学学报, 2024, 45 (2): 308-316.
- [12] 周栩杨. 基于 Python 的自动化测试框架在 Scrum 开发模式中的应用 [J]. 信息系统工程, 2024 (8): 87-89.
- [13] 吴海龙, 宋 合, 杨 坤. 卫星导航抗干扰射频单板自动化测试系统设计与实现 [J]. 计算技术与自动化, 2024, 43 (2): 1-9.
- [14] KARIMI M, RAHIMI K S, TROYA J. Yekta: A low-code framework for automated test models generation [J]. SoftwareX, 2024, 10 (6): 156-164.
- [15] BAOPING W, LINKAI Z, DI S, et al. Towards an automated testing framework for IoT devices [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2023, 2493 (1): 917-920.
- [16] 陈俊生, 彭莉芬. 一种用于 Web UI 自动化测试脚本修复的网页元素重定位方法 [J]. 长春师范大学学报, 2023, 42 (8): 54-59.
- [17] 杨 幸, 龚 琦, 范文晶, 等. 某发控设备一体化自动化测试系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (6): 53-58.
- [18] 陈 建, 沈亚峰, 张 谊. 轻量级嵌入式软件自动化测试框架设计 [J]. 计算机工程与设计, 2024, 45 (3): 940-947.
- [19] 张玉南. 基于数字签名和文字识别技术的高校成绩管理系统的设计研究 [J]. 信息记录材料, 2024, 25 (5): 91-93.
- [20] 王 嬉, 赵春蕾, 步志亮, 等. 基于 SA-UCB 算法的 Android 应用程序自动化测试方法 [J]. 计算机科学, 2023, 50 (s2): 801-807.
- [21] 张敬勋, 张俊虎, 赵宇波, 等. 基于字符分割和 LeNet-5 网络的字符验证码识别 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (7): 271-277.
- [22] 祝军生, 方志耕, 冯敏洁, 等. 某伺服系统实时性自动化测试优化设计 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (8): 84-90.
- [23] 王川涛. 基于图像识别技术的 Web GUI 自动化测试平台的研究与实现 [D]. 成都: 西南科技大学, 2021.
- [24] 胡莉琼, 詹夏城, 唐健玲, 等. 基于 Airtest 框架的图像识别自动化测试研究与应用 [J]. 工业控制计算机, 2024, 37 (7): 109-110.
- [9] 何思奇. 电磁阀全自动测试系统的设计与实现 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [10] 张卫东, 李 力, 张茂森, 等. 基于虚拟仪器和 PXI 总线的电磁阀控制系统研制 [J]. 火箭推进, 2015, 41 (1): 112-116.
- [11] 弭 艳, 张红霞, 马兵兵. 基于双向 TVS 的电磁阀加速释放电路研究 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (8): 182-187.
- [12] 祝 捷. 电磁阀反向电动势影响及解决措施 [J]. 阀门, 2018 (6): 33-34.
- [13] 张 斌. 基于 LabVIEW 的数据采集系统的设计 [J]. 电气自动化, 2020 (42): 115-118.
- [14] 刘景峰. 基于 LabVIEW 的数据采集与多功能分析系统设计 [D]. 太原: 中北大学, 2015.
- [15] 陈泽建. 基于 LabVIEW 的航空舵机测控系统设计 [D]. 西安: 西北大学, 2018.
- [16] 刘珊珊. 基于 LabVIEW 的数据采集系统设计与应用 [D]. 太原: 中北大学, 2012.
- [17] 张亿雄, 顾海明. 基于调用 DLL 的 LabVIEW 数据采集的实现 [J]. 数采与监测, 2008 (24): 78-80.
- [18] 陆家龙. 基于虚拟仪器的实时监控系统设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [19] 杜 芳. 基于 LabVIEW 的 PXI 虚拟数字示波器设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [20] 余九州. 基于虚拟仪器的电磁阀特性测试研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2011.
- [1] 杨林涛. 姿轨控动力系统响应特性仿真研究 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2018.
- [2] 李 寅. 基于虚拟仪器的电磁阀综合性能测试系统构建 [J]. 电子科学技术, 2015 (2): 417-424.
- [3] 赵新航, 韩 飞, 兰旭东, 等. 运载火箭电磁阀判读算法设计 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (6): 252-266.
- [4] 李 越. 基于多源信息融合技术的电磁阀测试系统 [D]. 北京: 北京交通大学, 2021.
- [5] 韦山峰. 导弹发动机油箱用电磁阀线性控制技术研究 [D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2022.
- [6] 吴伟国, 张 新. 液压 ABS 电磁阀性能试验研究 [J]. 液压与气动, 2006 (5): 11-13.
- [7] 阿勇嘎. 基于网络的电磁阀测试平台研制 [D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- [8] 郑培根, 陶国良. 气动电磁阀综合性能测试系统的研究 [J]. 机床与液压, 2010 (13): 36-39.

(上接第 6 页)

测试系统研制成功后, 已经多次应用于某型号姿轨控动力系统的电性能地面测试。通过实际应用表明, 该系统可靠性好、判读精度高、测试效率高, 提高了电性能测试的稳定性与正确性, 充分满足了姿轨控动力系统研制、自动化测试的目标需求, 并具有一定的应用和推广价值。

参考文献: