

基于图像识别的联锁人机界面检测方法研究^{*}夏运超^{1,2} 李 鹏² 朱林富²

(1. 中国铁道科学研究院研究生部 北京 100081; 2. 中国铁道科学研究院集团有限公司标准计量研究所 北京 100081)

摘 要: 铁路信号系统是保证铁路运输安全高效运行的重要手段,计算机联锁系统作为铁路信号系统的关键设备,系统自身的完备性测试必不可少。联锁人机界面是联锁系统的重要组成部分,通过作业人员操作,可向信号设备发送控制命令,并接收显示现场设备表示状态信息。对联锁人机界面依照标准规范进行检测,是确保联锁系统正常运行、保证铁路行车安全的重要手段。目前针对联锁人机界面的测试大都依靠人工,存在测试效率低下、测试过程不可追溯等问题。本文基于归一化平方差算法,提出适用于实时图形界面检测的模板匹配方案;分析联锁人机界面图像的局部特征,提出非侵入式不失真图像像素特征识别方法;将人工操作步骤建模抽象为计算机可识别语言;提出 13 种自定义关键字,实现模拟联锁人机界面操作;自动捕获分析图像、文字、语音信息,精确计算图像 RGB 三原色模型值,判断测试结果规范符合性,提高了检测结果准确性和一致性。经验证对比,所提出的联锁人机界面检测方法,实现了全过程自动化测试,可视化全部操作流程,测试结果及中间环节均可追溯,极大地提高了测试效率和测试结果的可信度。

关键词: 计算机联锁人机界面;图像处理;自动化测试系统

中图分类号: U284.36;TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 580.3020

Research on Interlocking human machine interface detection method
based on image recognitionXia Yunchao^{1,2} Li Kun² Zhu Linfu²

(1. Postgraduate Department, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China;

2. Institute of Standards & Metrology, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

Abstract: The railway signal system is an important technical means to ensure the safe and efficient operation of railway transportation. As a key equipment of the railway signal system, the completeness testing of the system itself is essential for the computer interlocking system. The interlocking human-machine interface is an important component of the interlocking system. Through the operation of the operators, control commands can be sent to the signal equipment, and on-site equipment status information can be received and displayed. Testing the interlocking human-machine interface according to standard specifications is an important technical means to ensure the normal operation of the interlocking system and ensure the safety of railway operations. At present, the testing of interlocking human-machine interfaces mostly relies on manual labor, which has problems such as low testing efficiency and untraceable testing processes. This article proposes a template matching scheme suitable for real-time graphical interface detection based on the normalized squared difference algorithm; analyze the local features of the interlocking human-machine interface image and propose a non-invasive and distortion free image pixel feature recognition method; modeling and abstracting manual operation steps into computer recognizable language; propose 13 custom keywords to simulate interlocking human-machine interface operations; automatically capturing and analyzing image, text, and speech information, accurately calculating the RGB primary color model values of the image, determining the compliance of test results with specifications, and improving the accuracy and consistency of detection results. After verification and comparison, the proposed interlocking human-machine interface detection method has achieved full process automation testing, visualized all operation processes, and traceable test results and intermediate links, greatly improving testing efficiency and the credibility of test results.

Keywords: computer Interlocking human-machine interface; image processing; automatic test system

0 引 言

计算机联锁系统主要对客、货列车和调车车列在车站

内的运行进行控制并保证其运行安全,是典型的实现重大生命攸关功能的安全苛求控制系统^[1]。测试是保证系统完成规定功能的重要途径,系统自身的完备性能测试必不可

少,其中就包括依据相关行业标准^[2-3]对计算机联锁人机界面的检测^[4],以保证不同厂家的计算机联锁系统均达到标准中的要求。

目前计算机联锁人机界面测试人工依赖程度很高,测试过程中存在诸多问题。首先,测试人员对铁路计算机联锁相关知识的了解情况及其操作方法的熟练程度会较大程度影响测试效率;其次,测试项点多,测试过程较为繁琐,导致耗费大量时间精力;最后,传统人工测试结束后,整个测试过程无法追溯,测试中的操作细节,中间结果无法保留,使得测试结果缺乏充足的可信度。针对上述问题,分析联锁自动化测试现有研究成果,总结自动化测试经验,并分析现阶段研究的空白与不足,实现联锁人机界面的全过程自动化测试。

针对联锁人机界面自动化测试的相关研究主要集中在对于界面上图像文字等各种元素的识别方法,以及自动化测试系统的设计与实现。在联锁界面元素识别方面,王玥^[5]采用C#语言设计了基于OpenCVSharp图像识别技术的联锁上位机界面识别软件,实现了界面元素数据的自主提取,但也存在由于信号设备之间或文字相距较近的因素而导致误识别的情况。王文杰等^[6]提出了一种基于OpenCV计算机联锁上位机界面图像分析法,提取处理界面中各种信号设备图标。冀毅^[7]采用了先进的深度学习算法对界面上的图标进行定位识别,构建了连接主义文本提议网络(connectionist text proposal network,CTPN)联锁界面文本定位模型。而由于缺少联锁界面图标的公开数据集,也需花费大量时间进行数据集的制作。相比较来说,图像处理技术应用在处理铁路信号系统的界面识别上,所面对的识别场景并不复杂。在更高级的视觉任务中,Zhu等^[8]对视觉问答进行了深入的研究,提出了一种新的长短期神经网络^[9](long short-term memory network,LSTM)模型来解决目标任务,设计出能在视觉上理解和回答问题的智能系统,未来研究将继续训练模型,提高处理复杂逻辑问题的能力。这些研究日后对测试系统的改进方向有一定的指导意义,让系统更高效智能,并适应各种复杂场景^[10]。

在自动化测试系统的设计与实现方面,部分研究借助了应用成熟广泛的测试框架来辅助实现测试用例生成、测试脚本执行等功能^[11],以减少测试系统前期开发难度与工作量。孙志科^[12]提出采用基于显示内存映射和图像识别技术的自动测试软件平台Eggplant Functional,并进行二次开发,提高了测试效率。王琦^[13]提出了基于有色Petri网的联锁软件测试用例生成方法。单一龙等^[14]对传统的人工测试流程进行优化,采用图形化方式生成测试用例,基于Robot Framework自动测试框架及故障分析专家系统,实现可无人值守的自动化测试。余锦润等^[15]以OpenCV图像识别算法为支撑,以Sikulix库函数为底层驱动,应用Python+Robot Framework完成了整个测试框架的设计。

综合上述内容可以发现,联锁界面自动化测试方法的研究,大都是从某个关键环节切入,实现了图像文字的识别处理,测试案例的自动生成等功能。但真正将测试全过程集成起来的较少,也未实现模拟人工操作,可视化自动点击;且大部分测试都是基于接口进行的测试,若在不了解联锁底层代码的情况下,执行起来存在一定难度;整个自动化测试过程仍需较多的人工辅助,测试过程无法详细记录保留。

为解决上述问题,本文提出一种以图像识别技术为主的联锁界面测试方案,首先对比几种图像模板匹配算法,提出了基于归一化平方差匹配算法的模板匹配方法和适用于联锁界面的无失真像素特征识别方法。然后依据测试需求,借助Robot Framework自动化测试框架,提出13种自定义关键字,并设计自动化测试体系架构,实现非侵入式测试;为方便编写测试案例,分解测试步骤并建模;最后进行测试实验,验证检测方法的可行性。所提出的测试方案,对联锁界面测试过程的每个环节都进行了分析与设计,实现了全过程的自动化测试;将模拟人工的操作流程可视化,可保留所有测试细节和结果,使得整个测试过程可追溯;在确保测试结果可信度的前提下,极大提高了测试效率,并节约大量时间成本。

1 图像识别

联锁人机界面测试首先对图像识别提出了较多要求,图像识别技术是测试系统的核心技术,图像识别案例在测试案例中占有很大比重。相较于人工来说,计算机识别图像是直接读取图像的数据信息,能准确判定图像的RGB值,并且有更高的准确性和稳定性,十分符合自动化测试需求。

如图1所示,依据测试标准,测试系统需模拟人工操作,识别并定位界面按钮,点击后自动判定界面图像变化,与预期结果进行比对。比如判定道岔、信号机、轨道电路状态等;还有部分案例需对尺寸较小的图像进行判定,又或者需判定图像颜色信息,比如对道岔四开状态的判断,对轨道区段状态的判定等。基于这些需求,决定采用图像模板匹配和图像特征识别两种方法,并在二者基础上进行改进,以满足实时图形界面检测和无失真像素识别需求。

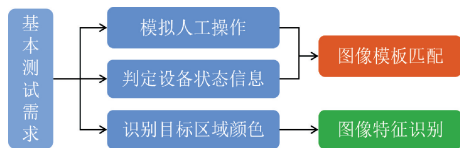


图1 测试需求与图像识别方案

Fig. 1 Testing requirements and image recognition solutions

1.1 图像模板匹配

1) 模板匹配算法分析

模板匹配是用已知的标准图片,在目标图片区域内进

行匹配搜索。根据联锁人机界面显示环境的特点,除模板大小这一因素,外界干扰、图像质量等影响模板匹配性能的因素可控。依据匹配结果判定是否匹配成功,考虑选用能

将计算结果归一化展示的 3 种匹配方式作为备选算法。表 1 中整理了这 3 种采用了不同的模板图片和目标图片预处理方式的模板匹配算法,并总结了优缺点。

表 1 图像模板匹配算法
Table 1 Image template matching algorithm

算法名称	公式	优缺点
归一化平方差匹配(SQD)	$R(x,y)=\frac{\sum_{x',y'}(T(x',y')-I(x+x',y+y'))^2}{\sum_{x',y'}T(x',y')^2\cdot\sum_{x',y'}I(x+x',y+y')^2}$	优点:简单直观,计算速度快。 缺点:对外部干扰敏感。
归一化相关性匹配(CC)	$R(x,y)=\frac{\sum_{x',y'}(T(x',y')\cdot I(x+x',y+y'))^2}{\sum_{x',y'}T(x',y')^2\cdot\sum_{x',y'}I(x+x',y+y')^2}$	优点:可抵抗部分外部干扰。 缺点:计算量较大,对模板和图像的尺度变化敏感。
归一化系数相关性匹配(NCC)	$R(x,y)=\frac{\sum_{x',y'}(T(x',y')\cdot I(x+x',y+y'))}{\sum_{x',y'}T'(x',y')^2\cdot\sum_{x',y'}I'(x+x',y+y')^2}$	优点:可抵抗部分外部干扰。有一定的平移、旋转、缩放不变性。 缺点:计算量大,对模板和图像的尺度变化敏感。

以归一化系数相关性匹配方法为例,假设模板的面积(像素数)为 m ,说明计算方法并分析其时间复杂度:

$R(x,y)$ 表示模板在目标图像中的匹配程度;
 $T(x',y')$ 表示目标图像中的像素值;
 $I(x+x',y+y')$ 表示模板图像中偏移 (x,y) 的像素值;
 $\sum_{x',y'}$ 表示对所有像素进行求和。

其算法步骤如下:

(1)均值计算:首先对模板 A 和目标区域 B 每个像素计算均值得到 μ_A 和 μ_B 。对应到公式中即:

$T'(x',y')=T(x',y')-\mu_A$ (1)

$I'(x+x',y+y')=I(x+x',y+y')-\mu_B$ (2)

(2)计算模板和图像区域标准差 σ_A 和 σ_B , 即:

$\sigma_A=\sqrt{\frac{1}{M}\sum_{x',y'}T'(x',y')^2}$ (3)

$\sigma_B=\sqrt{\frac{1}{M}\sum_{x',y'}I'(x+x',y+y')^2}$ (4)

同时此步骤可计算得出归一化因子,即目标图像和模板图像的平方和,并取平方根,公式为:

$\sqrt{\sum_{x',y'}T'(x',y')^2\cdot\sum_{x',y'}I'(x+x',y+y')^2}$ (5)

(3)计算相关系数,最后使用上面得到的均值和标准差计算相关系数,公式可简化表示为:

$R(x,y)=\frac{\sum_{x',y'}T'(x',y')\cdot I'(x+x',y+y')}{\sigma_A\cdot\sigma_B}$ (6)

上述每个步骤都涉及 m 次操作,因此总体复杂度为:
 $O(m)+O(m)+O(m)=O(3m)=O(M)$ (7)

对于归一化相关性匹配方法,免去了计算均值的步骤,因此复杂度为 $O(m)+O(m)=O(2m)=O(M)$; 归一化平方差匹配,只进行了平方差的计算和归一化处理,因

此复杂度也为 $O(m)+O(m)=O(2m)=O(M)$ 。考虑到在图像的每个可能匹配位置上都需要做上述计算,假设图像中有 N 个窗口,则对于每个图像窗口为 $O(NM)$,因此总的复杂度为 $O(NM)$ 。

综合分析,三者时间复杂度均为 $O(NM)$,但因为具体计算步骤的差异,实际运算时间有所区别。其中的归一化平方差匹配在计算步骤上最少,没有复杂的均值和标准差计算,在保证测试准确率的前提下,归一化平方差匹配是最为高效的模板匹配方式。根据不同的偏移值可以得到模板图像在目标图像上的相似性分布。匹配程度越高,区域匹配值越小。下面在 PyCharm 中,模拟实际测试过程中的模板匹配环境,将目标图像大小范围框定为 150 像素 \times 150 像素,选用的模板图片与实际测试过程相同且未发生缩放情况,匹配成功后将结果在窗口内显示 1 s 后关闭,分别调用 3 种匹配方式,正确选定阈值,在保证匹配准确率为 100% 的情况下,使用 time 模块中的 time() 函数来显示模板匹配程序运行时间,经多次测试取得均值,结果如表 2 所示。可以看出,在待匹配区域像素数量较少时,3 种算法均可满足测试需求,且实际用时十分接近。但考虑到在测试过程中,会有在全局范围内搜索特定目标的需求,此种场景下的像素数量变为 $1\,920\times1\,080$,增长了近 100 倍,此时的匹配用时差距更加明显。实际测试过程中,模板匹配算法会被调用几百次,匹配时间累加起来,对整个测试系统的计算效率有较大影响。综合上述分析,决定采用计算效率最高的归一化平方差匹配算法(SQD)作为基础算法。

2)实时图形界面模板匹配方案

一般的模板匹配方案,通过结合多尺度匹配^[16]可解决模板图像与目标图像的尺寸不匹配的问题,并提高模板匹

表 2 模板匹配算法时间比较

Table 2 Comparison of template matching algorithm time

调用算法	阈值	匹配	时间	局部匹配	全局匹配
	选取	准确率/%	复杂度	用时/s	用时/s
归一化平方差匹配 SQD;cv2. TM_SQDIFF_NORMED	≤ 0.1	100	$O(NM)$	1.157 0	1.262 4
归一化相关性匹配 CC;cv2. TM_CCORR_NORMED	≥ 0.9	100	$O(NM)$	1.158 4	1.270 2
归一化系数相关性匹配 NCC;cv2. TM_CCOEFF_NORMED	≥ 0.9	100	$O(NM)$	1.160 4	1.299 3

配算法在复杂场景中的有效性^[17]。但计算机联锁人机界面作为动态、交互、实时的图形化界面,在测试过程中与传统图像识别场景相比存在一定的特殊性。普通的匹配方案仅能实现自动化测试的一小部分功能,要想实现完备的测试功能,不仅需使模板匹配过程可视,而且在匹配成功后,要保留目标位置以及缩放比例,以便提高后续测试步骤的执行效率;更重要的是,要满足实时变化的图形界面测试需求,需对变化后的图形界面完成二次点击、判定、匹配等相关操作,并且此过程在一些复杂测试案例下会重复 2~3 次甚至更多。

在图 2 所示的测试案例中,状态 1 为界面初始状态,当点击“非进路”灰色按钮后,首先会弹出状态 2 中的确认窗口,此时就需要在“非进路”按钮附近找到此窗口并点击确认,随后界面变为状态 3,在此状态下要判定非进路指示灯变为白色圆圈,而后取消非进路,在状态 4 中可以看到出现了表示倒计时的红色数字,故要据此判定是否正在进行倒计时显示。类似的案例还有很多,比如判断道岔定位或反位状态下的道岔名称颜色,判断信号机防护的股道区段的状态,点击某个功能按钮后需在弹出的二级菜单中寻找操作目标等。

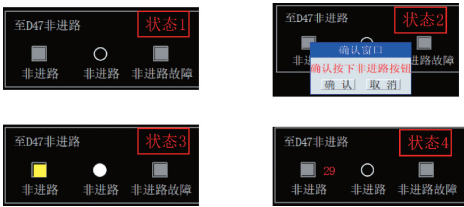


图 2 非进路办理过程

Fig. 2 Non route handling process

综合上述分析,实现上述过程的自动化测试需要在原有模板匹配基础上进行改进,提出适用于联锁人机界面测试的模板匹配方案。在设计程序流程时,将每个功能函数独立编写,再把各个功能模块组合。这样既能满足一般简单案例的模板匹配任务,又能在复杂场景下,通过组合扩展基础函数功能,满足自动化测试需求。灵活的组合方式,提高了代码的复用性,简化了测试脚本的编辑过程,也利于后期系统的功能升级。如图 3 所示的 3 个程序,最左侧为基础的图像模板匹配,中间程序用于实现多尺度匹配和匹配位置的计算,右侧示例程序则整合多个函数功能,

通过指定的路径搜索图形对象,在找到目标后进一步搜索附近的对象并进行点击、判定等操作,且综合考虑超时机制,有效地处理了实时图形界面的自动化检测任务。

1.2 无失真像素特征识别

一幅图像独特的像素点称为特征点。从图像中选取某些特征点并对图像进行局部分析,而非观察整幅图像。图像特征识别应用在联锁人机界面自动化测试过程中,可以检测某些尺寸较小的图像特征。如果对于这些图像仍利用模板匹配方法,会增大测试系统调试难度,图像尺寸过小也会影响匹配效率和精度。

如图 4 中对于道岔四开状态的识别,当道岔四开时,有 3 个线段,之间没有任何相连,且道岔编号为红色字体。在图像识别时可以抓住这个特征,检测提取线段端点,同时提取道岔编号,如果有 3 条线段、3 个端点且检查道岔编号的像素点为红色则认为是道岔处于四开状态。同理,如图 4 中所示的道岔单锁状态识别。道岔单锁时,提取出圆圈,且像素点为红色,则判断道岔处于单锁状态。

对于描述颜色信息像素特征的分析识别,也是图像颜色判定测试中的重要一环。而对于图像像素特征识别的重点为能否准确得到界面上的 RGB 值,在 TB/T 3578-2022 标准中,明确规定了红、绿、蓝、深蓝、白、灰等,出现在界面上的所有颜色 RGB 值。目前传统的人工测试方法为,将界面上的待识别区域截图,利用工具进行 RGB 值的提取。此种方法虽保证了数据的准确性,但此过程并不适合直接转换为自动化步骤来执行。RGB 值本质上就是存储在计算机显存中的数据,利用计算机系统工具直接进行数据读取,是更直接、高效、准确的测试方法。为此提出了如图 5 所示对于图像数据的无失真处理方法。为保证所得到的图像为被测设备所显示的原始图像,首先利用测试系统中的非侵入式接口^[18]与被测设备直接连接,发送截图指令;被测设备接收指令后,直接从显存中抓取图像数据,并回传到测试系统中,运算控制模块再对数据进行解析,统计像素数量,给出精确的 RGB 值。上述无失真处理方法,通过非侵入式接口和网络通道,进行指令与数据的交互,测试系统未直接参与数据提取,仅对传回的数据进行分析;被测设备无任何软件、硬件层面上的修改,保证了数据的原始性和真实性。因此,利用本方法测试得出的结论,可真实反映被测设备的界面显示细节,保证了图像特征识别结果的有效性和准确性。

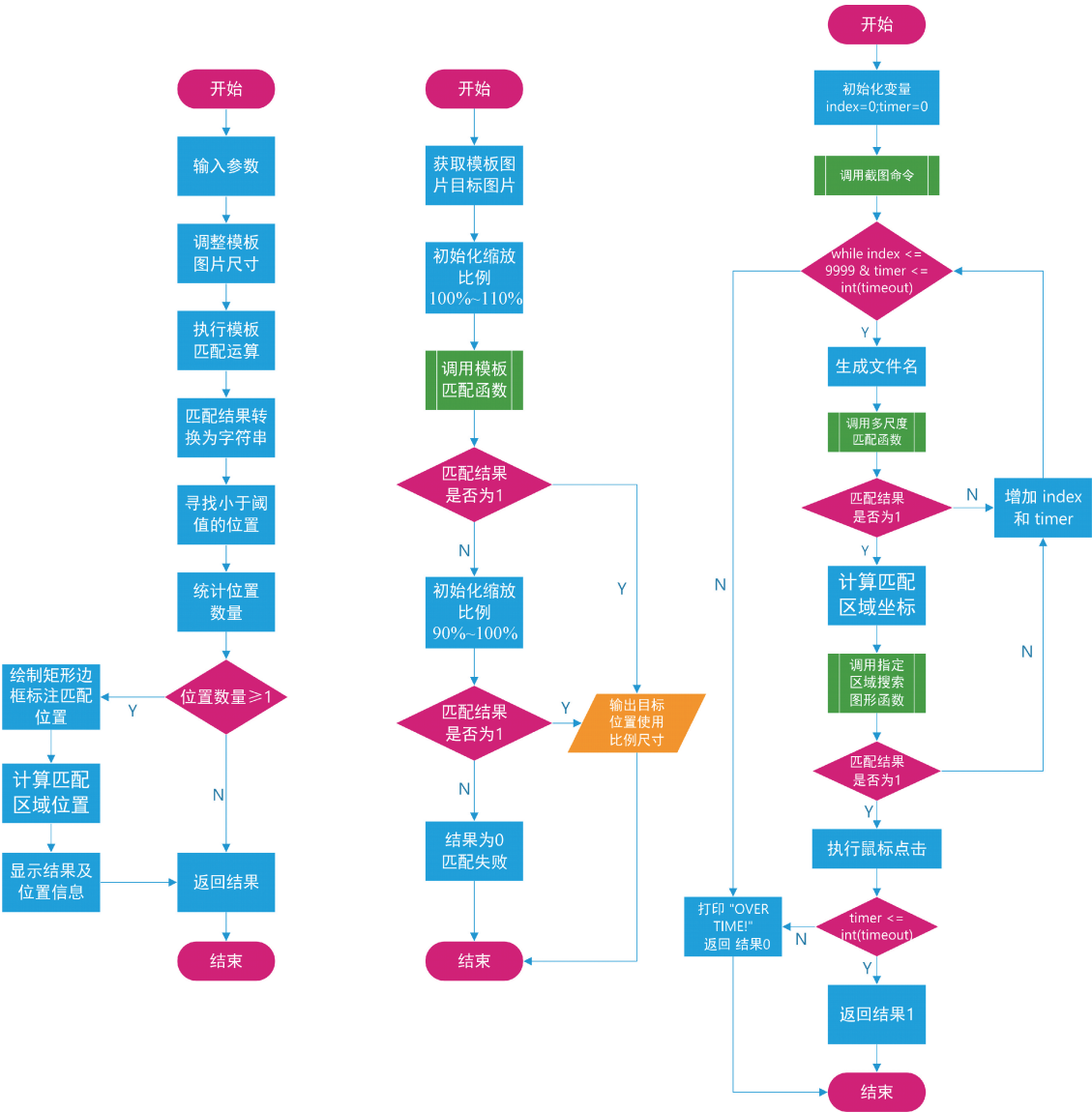


图 3 函数功能组合示例

Fig. 3 Example of function function combination

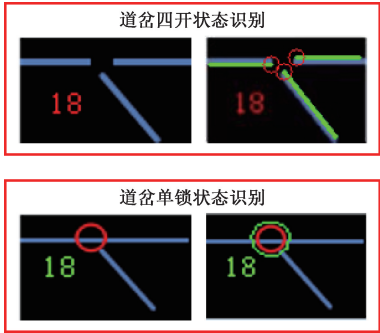


图 4 道岔特征点识别

Fig. 4 Identification of switch feature points

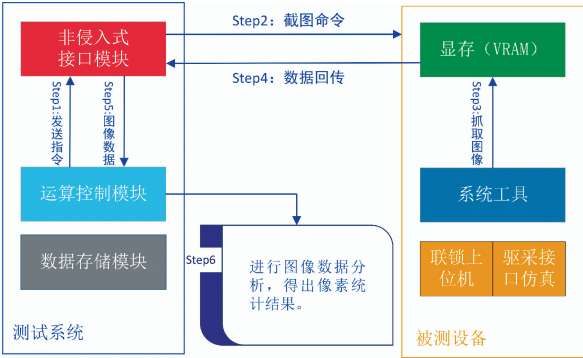


图 5 无失真数据处理方法

Fig. 5 Distortion-free data processing method

2 检测方法

2.1 测试系统架构

为节省测试系统开发时间,结合自动化测试框架在各个测试领域的成熟运用,综合考虑功能适用度、开发难度、使用成本等因素,决定采用技术成熟、应用广泛、开源且免费的自动化测试框架 Robot Framework 作为整个系统的

载体,利用其强大的扩展性能与丰富的测试接口,整合第一节中提出的图像识别方法,并引入文字识别和语音识别模块,辅以数据存储功能,提出了如图 6 所示的测试系统架构。图中左侧展示了联锁 UI 测试系统的 3 个层级,层级之间相互联系,实现数据自主存取、脚本自动执行、测试命令自主下发等功能。并设计了非侵入式测试接口,与被测设备连接,实现操作指令传输与测试数据交互。

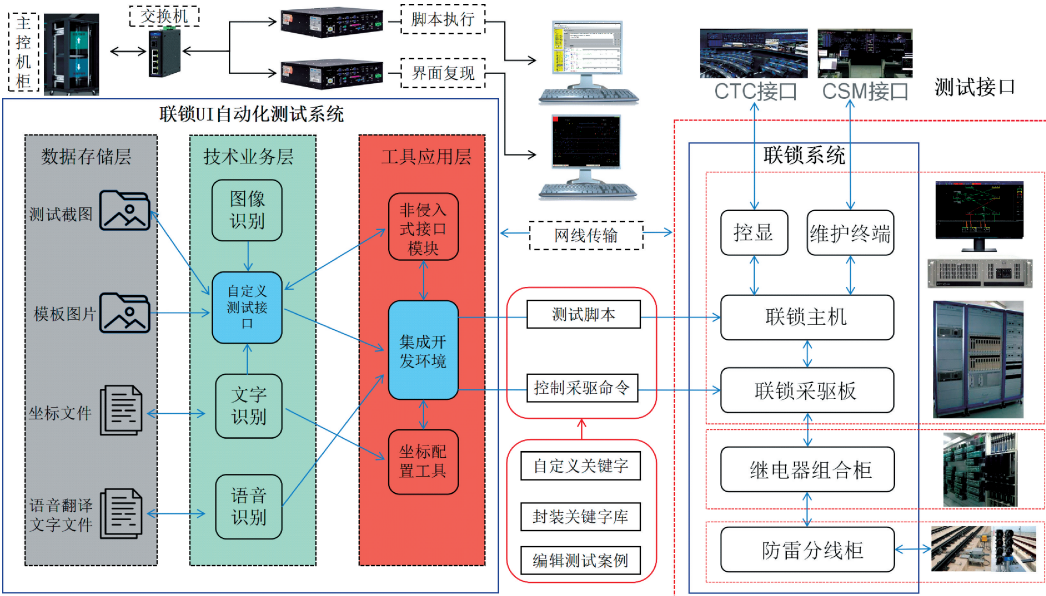


图 6 系统架构图

Fig. 6 System architecture diagram

在联锁 UI 测试系统中,数据业务层负责存储和提供测试过程中产生的截图以及测试需要的模板图片等数据。技术业务层为整个系统功能实现奠定了基础,进行关键字的编写,测试接口的调试。工具应用层与被测设备建立联系、传递数据、编制测试案例、自动运行测试脚本,再加上另外两层的技术支持,实现整个测试系统的完备测试功能。测试系统采用非侵入式接口系统连接被测联锁人机界面,实现远程模拟人工操作。测试结束后检查自动出具的测试报告,确认问题项点,留存测试脚本,便于以后查验。

2.2 测试案例建模

传统人工测试依靠手动逐步对联锁界面进行操作,观

察界面是否能对操作正确响应,辨别所呈现的结果是否符合规范。而计算机并不能理解测试大纲内容,需转化为计算机可读语言,于是提出如图 7 所示的测试案例建模方案。具体实现方法为,选取一条有代表性的测试案例,先按人工测试流程将操作步骤分解,再将每个步骤转化为计算机要进行的运算,然后结合测试框架功能特点,将每步运算抽象为具有特定功能的关键字,最后在整合测试案例过程中,提供对应的参数和变量,对输出的目标结果进行判定或保存等操作,完成计算机可自主执行的案例编写过程。



图 7 建模流程

Fig. 7 Modeling process

以扳动道岔的实际操作过程为例,介绍测试系统在执行此条命令时的测试案例设计流程,并说明所用到的关键字功能、使用场景,以及多个关键字组合后的使用方法。

从图 8 中可以看到,将人工操作步骤分解,转化为计算机可执行语言,每个功能的实现都对应着一个或多个关键字,这些关键字均为依据测试需求编制的自定义关键字,实

现自动点击界面,搜索目标对象等操作。其中搜索目标对象所使用的算法即为模板匹配方法,匹配到图像后还可增加几步运算,将图像的坐标保存下来,并与其他功能组成新

的关键字,实现新的功能。为实现整个测试系统的完备测试功能,共计编写了 13 个不同的关键字,表 3 展示了部分自定义关键字的输入输出、使用方法和功能描述。

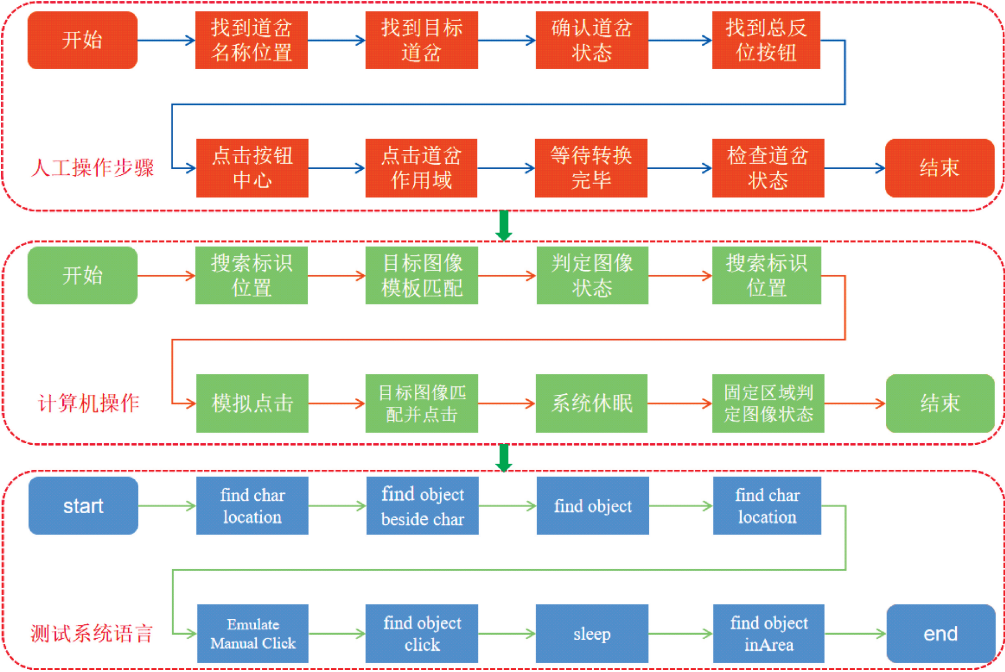


图 8 道岔检测建模
Fig. 8 Turnout detection modeling

表 3 自定义关键字
Table 3 Customized Keywords

名称	输入	返回值	前提条件	描述
Emulate Manual Click	<方向> <横坐标> <纵坐标> <RDP 编号>	无	无	模拟人工单击,点击的位置为输入的屏幕横、纵坐标,支持多个远程桌面操作。
Find Object InArea	<图库路径> <标识名> <标识坐标>	1/0	各文件路径配置好	在联锁 UI 界面指定区域内搜索标识名对应的图像。
Find Object	<图库路径> <标识名> <超时时间> <精准度>	1/0	各文件路径配置好	在联锁 UI 界面内搜索标识名对应的图像。
Find Object Click	<图库路径> <标识名> <超时时间> <精准度>	1/0	各文件路径配置好	在联锁 UI 界面内搜索标识名对应的图像并单击。
Find Object Location Beside Object	<截图路径> <图库路径> <标识名 1> <标识名 2> <搜索范围> <超时时间> <精准度>	标识名 2 的坐标	与被测设备建立通信	在联锁 UI 界面标识名 1 附近一定范围内搜索标识名 2 的图像坐标。

2.3 测试方法分析

面对黑盒的被测对象,无法获取被测系统的代码或者数据^[19]。可行的技术路线是对被测对象遵循的系统需求规范进行建模,再选择覆盖率标准,通过对模型的遍历得到测试案例^[20],分层级实现测试案例模型的应用。

数据存储层可在测试开始前对案例模型中标识名称、

坐标参数、模板图片等数据进行预存储。在测试过程中,利用应用层工具的接口功能,保证整个测试系统的数据流正常交互。测试完成后,还可保存系统自动截取的关键图像,作为测试留档,便于日后查验;

技术业务层作为核心环节,基于测试框架的底层逻辑,根据图像、语音、文字识别库,依据测试需求,编制自定义

义关键字。为使测试用例与具体的实现逻辑分离,使得测试用例的编写更加简洁和易于理解,将自定义的关键字抽象成专用 CBILib 库,封装复杂操作,还可提高代码的重用性;

工具应用层整合应用广泛且成熟稳定的测试工具和辅助工具,提供了与被测设备和测试系统其他两层级的接口,实现非侵入式检测。结合各种输入参数,实现测试脚

本自动执行,并保留测试过程和结果,为下次测试提供改进参考,形成测试闭环。

如图 9 所示,以一条进路的办理过程为例,从开始的自动选择点击按钮,等待系统响应,至进路办理完成,检查区段锁闭,检查信号开放,再模拟占用,顺序出清,检查区段解锁,说明脚本编制过程和测试系统各层级功能实现方法,并列举所用到的部分关键字。

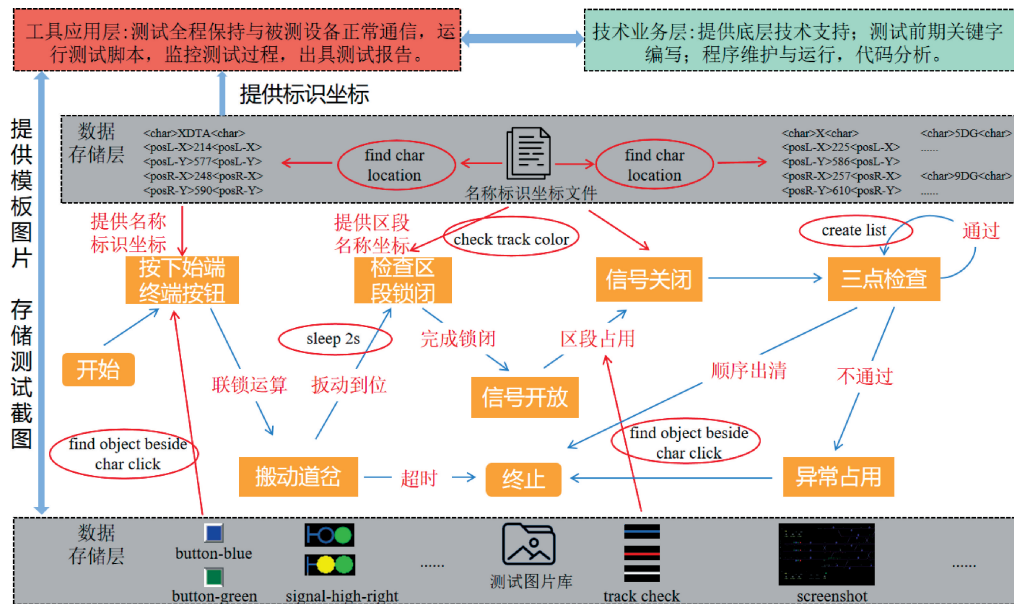


图 9 排列进路操作流程

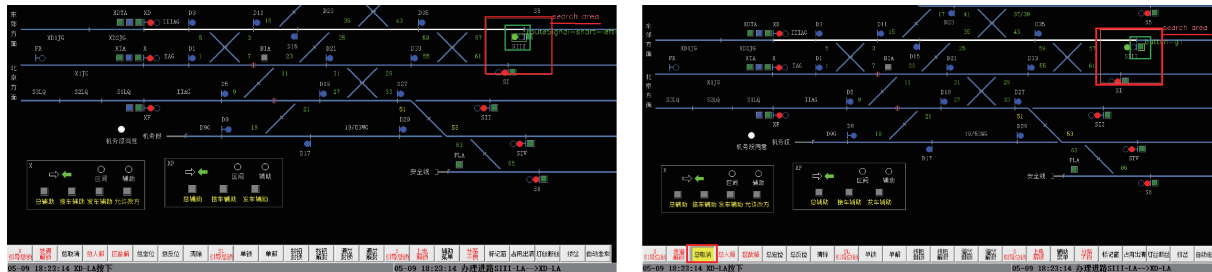
Fig. 9 Operation process for arranging routes

3 测试验证

3.1 图像模板匹配结果验证

图 10 展示了测试系统的部分自动截图,从图 10(a)可以看到进路排列完成后,测试系统识别到 SIII 信号机并检验绿灯状态,分别使用红框和绿框进行标记,表示图像模

板匹配成功;然后图 10(b)进行取消进路办理,顺序按下总取消按钮和进路始端按钮,自动完成进路取消工作。图 11 截取部分测试报告,对坐标获取过程进行了展示,以及模板匹配成功后的系统输出,测试结果输出 1 表示在目标图像中识别到了模板图像。



(a) 进路排列完成
(a) Route arrangement completed

(b) 取消进路操作
(b) Cancel route operation

图 10 进路取消测试过程

Fig. 10 Process of route cancellation test

3.2 图像特征识别结果验证

图 12 展示了在图像特征识别过程中,对区段状态的判断,通过识别统计目标区段像素数量排名,获取颜色信息,对应背景色黑色像素数量最多,代表区段空闲的浅蓝

色像素排名第二,识别此时区段为空闲状态。图 12 界面上显示红框和绿框,右侧图像显示颜色识别结果为“cambridgeBlue”,准确识别出空闲区段的颜色特征。

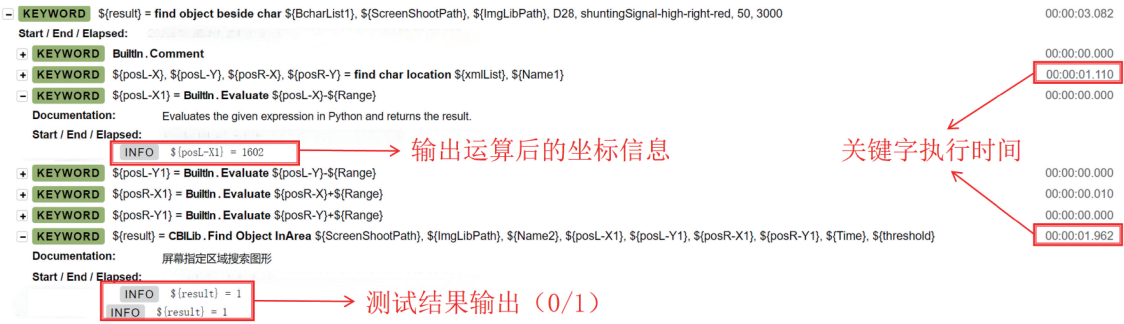


图 11 测试报告
Fig. 11 Test report



图 12 轨道区段状态特征识别

Fig. 12 Identification of track section state characteristics

3.3 可信性验证

采用人为制造错误场景的故障注入和异构比方法，检验测试系统的可信性。如图 13 所示，在允许改方按钮显示功能的检测中，首先需保证相关按钮在初始未按下状态，测试系统利用模板匹配方式在标识附近找到灰色的允许改方按钮并按下，才可进行后续操作。但是系统测试前，人为提前点击该按钮，使其变为黄色按下状态，再运行测试脚本，此时测试系统自动报错，并在 log 中显示错误信息。如图 14 所示，正常匹配下，结果输出为模板缩放 99%，

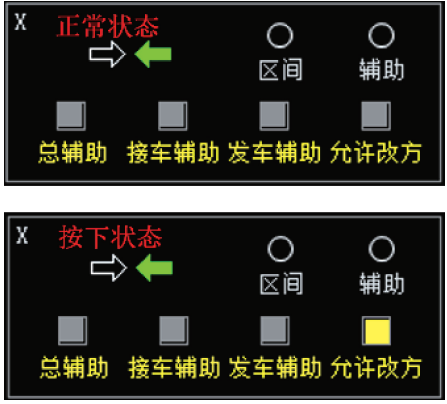


图 13 允许改方按钮状态

Fig. 13 Allow to change the status of the square button

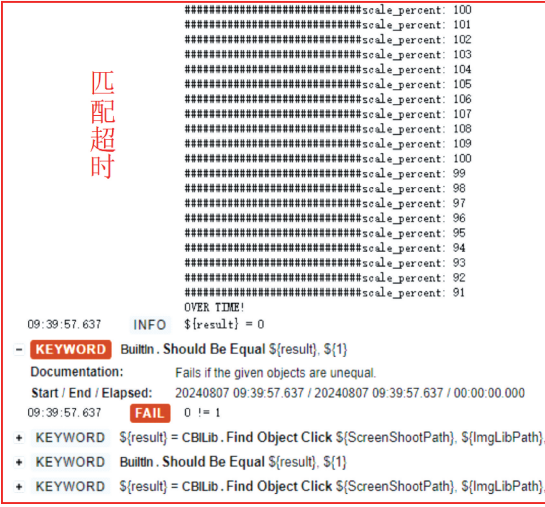
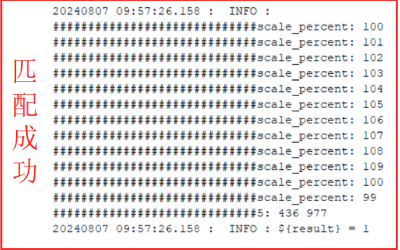


图 14 允许改方按钮匹配成功与超时对比

Fig. 14 Comparison between successful and timeout matching of the allowed change button

返回结果 1，表示匹配成功；当按钮初始状态不符合测试输入条件时，输出模板缩放信息，最终显示匹配超时，并返回结果 0。

在图像特征识别可靠性的验证中，以“联锁 A”为例，正常状态下应为绿底黑字，现人为制造故障将其显示为红底黑字，再进行测试，结果从图 15 可以看到，在测试日志中显示错误，并输出“red! = green”，表明测试系统正确判别设备状态栏底色为红色，与标准不符，结束测试并输出结果。

通过以上测试结果，验证了所提出联锁人机界面检测结果的可信性。该方法能准确稳定地进行自动化测试，并



图15 颜色信息判断

Fig. 15 Color information judgment

正确输出测试结果。对被测设备不符合规范的项点,也会准确筛查并在日志中保存结果,便于确认。

3.4 测试方案对比分析

目前关于计算机联锁人机界面自动化测试的研究,大部分为联锁设备生产厂家或检验认证机构为验证联锁设备是否存在性能或功能上的问题,并为提高测试效率,开展了一些测试系统的研发工作,但是相关成熟应用很少。当前,一种基于 Eggplant 平台的黑盒自动化测试工具也被用于联锁人机界面的检测,其利用平台提供的先进的图像、文字、语音识别算法编辑测试脚本,通过自带的测试接口,获取被测联锁设备的底层数据,可实现部分案例的自动化测试,并出具测试报告。但 Eggplant 平台版权在国外,并不开源,相关参考资料较少,所以底层功能实现方法并不可知。

本文提出的联锁界面测试方案中所使用的 RF 测试框架开源且免费,接口丰富便于功能扩展。且本方案无需获取被测设备底层配置数据,可实现非侵入式检测,根据需求自定义测试功能,适配于多个厂家的联锁设备。联锁 UI 测试系统可实现全过程自动化测试,并且具有测试结果准确,测试过程可追溯等优点。

4 结 论

本文提出了基于图像识别的联锁人机界面检测方法,在保证测试准确率的前提下,大幅提高了测试效率。首先基于归一化平方差算法进行图像模板匹配,提出适用于实时图形界面检测的模板匹配方案,提取联锁人机界面图像的局部特征,通过非侵入式接口与被测设备连接,实现操作指令传输与测试数据交互,避免修改被测系统硬件或软件实现逻辑,确保了检测的独立性和被测系统结构的完整性,允许在不中断或修改被测系统运行状态的前提下,进行全面的显示功能验证;然后,在提出的测试系统架构基础上,将人工操作步骤建模抽象为计算机可识别语言,并

提出13种自定义关键字;最后将测试系统的数据交互层、技术业务层和工具应用层之间联系起来,完成测试脚本编制,实现数据自动存取,脚本自动执行,测试命令自主下发,模拟联锁人机界面操作,自动捕获分析图像、文字、语音信息,不失真计算图像RGB值,判断测试结果符合性,提高了检测结果准确性和一致性,以及检测方法的可行性。

参考文献

- [1] 段武. 我国铁路车站联锁发展概要[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(S1): 86-97.
DUAN W. Overview of the development of railway station interlocking in China [J]. Railway Communication Signal, 2019, 55(S1): 86-97.
- [2] 国家铁路局.《铁路车站计算机联锁操作显示技术规范》TB/T 3578-2022[S]. 北京: 国家铁路局, 2022. <https://biaozhun.tdpress.com>.
National Railway Administration. Technical specification for computer interlocking operation display of railway stations. TB/T 3578-2022 [S]. Beijing: National Railway Administration, 2022. <https://biaozhun.tdpress.com>.
- [3] 国家铁路局.《铁路车站计算机联锁操作显示技术规范》Q/CR 930-2023[S]. 北京: 国家铁路局, 2023. <https://biaozhun.tdpress.com>.
National Railway Administration. Technical specification for computer interlocking operation display of railway stations. Q/CR 930-2023 [S]. Beijing: National Railway Administration, 2023. <https://biaozhun.tdpress.com>.
- [4] WANG G, SHEN Z. An automatic test platform for computer interlocking system[C]. Proceedings of the 2019 IEEE 10th International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS), IEEE, 2019: 538-541.
- [5] 王玥. 计算机联锁上位机界面的图像识别与处理[D]. 成都: 西南交通大学, 2022.
WANG Y. Image recognition and processing of computer interlocking upper computer interface[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2022.
- [6] 王文杰, 杨扬, 王玥. 基于 OpenCV 的计算机联锁上位机界面图像分析法[J]. 铁路计算机应用, 2021, 30(8): 17-23.
WANG W J, YANG Y, WANG Y. Image analysis method for computer interlocking upper computer interface based on OpenCV [J]. Railway Computer Application, 2021, 30(8): 17-23.
- [7] 冀毅. 基于深度学习的联锁界面识别在联锁自动测试中的应用研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2022.

- JI Y. Application research of interlocking interface recognition based on deep learning in interlocking automatic testing [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2022.
- [8] ZHU Y, GROTH O, BERNSTEIN S M, et al. Visual7W:grounded question answering in images[J]. CoRR, 2015, DOI:10.1109/CVPR.2016.540.
- [9] 朱栋,陶睿楠,陈威,等. 基于 LSTM 的无人船轨迹跟踪滑模控制算法研究[J]. 电子测量技术, 2024, 47(7): 61-68.
- ZHU D, TAO R N, CHEN W, et al. Research on sliding mode control algorithm for unmanned ship trajectory tracking based on LSTM [J]. Electronic Measurement Technology, 2024, 47(7): 61-68.
- [10] 李成勇,王莎,陈成瑞. 基于 OpenCV 的人脸识别系统设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(11): 168-172.
- LI CH Y, WANG SH, CHEN CH R. Design and implementation of face recognition system based on OpenCV [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2021, 40(11): 168-172.
- [11] 田锦明,黄超,纪林海,等. 基于 LabVIEW 的智能轮速传感器测试系统设计[J]. 电子测量技术, 2022, 45(1): 153-158.
- TIAN J M, HUANG CH, JI L H, et al. Design of intelligent wheel speed sensor testing system based on LabVIEW[J]. Electronic Measurement Technology, 2022, 45(1): 153-158.
- [12] 孙志科. 基于图像识别的联锁系统自动测试技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(9): 6-10.
- SUN ZH K. Research on automatic testing technology of interlocking system based on image recognition[J]. Railway Communication Signal Engineering Technology, 2022, 19(9): 6-10.
- [13] 王琦. 铁路信号联锁软件测试用例生成方法研究[D]. 北京:北京交通大学, 2016.
- WANG Q. Research on test case generation method for railway signal interlocking software[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.
- [14] 单一龙,杨志杰,李辉,等. LKJ 自动测试平台及关键技术研究[J]. 铁道标准设计, 2024, 68(3): 208-213, 221.
- SHAN Y L, YANG ZH J, LI H, et al. Research on LKJ automatic testing platform and key technologies [J]. Railway Standard Design, 2024, 68(3): 208-213, 221.
- [15] 余锦润,杨丹君,李波波. 基于位图识别的 UI 自动化测试研究和应用[J]. 自动化与仪表, 2021, 36(3): 90-94.
- YU J R, YANG D J, LI B B. Research and application of UI automation testing based on bitmap recognition [J]. Automation and Instrumentation, 2021, 36(3): 90-94.
- [16] 丁国绅,乔延利,易维宁,等. 基于光谱图像空间的改进 SIFT 特征提取与匹配[J]. 北京理工大学学报, 2022, 42(2): 192-199.
- DING G SH, QIAO Y L, YI W N, et al. Improved SIFT feature extraction and matching based on spectral image space[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2022, 42(2): 192-199.
- [17] ALONSO C J, MARTIN-LOPEZ A, SEGUAR S, et al. ARTE: Automated generation of realistic test inputs for web APIs [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2023, 49(1): 348-363.
- [18] LI J, MOEINI B, NEJATI S, et al. A lean simulation framework for stress testing IoT cloud systems[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2024, 50(7): 1827-1851.
- [19] RAKESH K L, KABITA M N, SARTHAK P. Automated testing tool: QTP [C]. International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking(ICACCCN). IEEE, 2018.
- [20] 李易,张本鑫,莫云,等. 特征可分性显式建模的跨数据库脑电解码方法[J]. 电子测量技术, 2024, 47(7): 95-105.
- LI Y, ZHANG B X, MO Y, et al. Cross database EEG coding method for explicit modeling of feature separability[J]. Electronic Measurement Technology, 2024, 47(7): 95-105.

作者简介

夏运超, 硕士研究生, 主要研究方向为轨道交通信号控制系统检验检测。

E-mail: 1540049111@qq.com

李鹏, 硕士, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为铁路通信信号系统检验检测。

E-mail: 18611869295@163.com

朱林富(通信作者), 博士, 高级工程师, 主要研究方向为列车运行控制系统仿真、检测。

E-mail: zhulinfu2008@163.com