

计量终端自动化功能测试系统的功能测试研究

从覆盖率方面,实例分析了计量终端功能测试的人工测试方式和自动化测试方式的优劣。针对计量终端自动化功能测试装置到货验收功能测试时测试用例的选取难以平衡测试效率和测试覆盖率的问题,提出一种等价类划分法和判定表驱动法结合的方法,首先根据技术要求的各个条件提取等价类,按析因试验设计思想将等价类穷尽组合,得到初始判定表,再由判定表驱动法对其缩减,提取测试用例集。通过广西某单位自动化终端测试装置到货验收测试实例,分析了所设计的测试用例识别出被测装置功能缺陷的过程,结果表明该方法可在等价体全覆盖的基础上减小测试用例数量,提升测试效率。

梁捷 李刚/广西电网有限责任公司电力科学研究院

0 引言

计量自动化终端具有事件记录、故障报警和负荷控制等多种功能,在电力系统中应用广泛^[1]。为进行厂家供货质量把控,计量终端功能测试是电能计量工作的一项重要内容。终端自动化功能测试系统对提高终端的检测水平及现场运行质量具有重要意义^[2]。该系统到货验收时,如何系统地查找和识别其功能上的不足,以便及时提请研发单位整改和完善也成为验收工作的难点。

对此,将等价类划分法和判定表驱动法结合,为其到货验收的功能测试提供能覆盖所有等价类的测试用例,并以广西某单位自动化终端测试装置到货验收测试实例详细说明了该方法的实现,并分析了所设计的测试用例识别出被测装置功能缺陷的过程,证实了其有效性。此外,对于计量终端功能测试方

法,从覆盖率方面分析了人工测试方式和自动化测试方式各自的特点。

1 计量终端自动化功能测试系统的开发和应用

1.1 人工测试和自动化测试比较

采用传统的人工测试法进行计量终端功能测试时,需要测试人员逐个对被试样品进行检验,由于终端厂家、型号繁多及测试软件智能化程度有限等原因,该方法存在设备检测工作异常繁重,测试效率低下的问题。

自动化测试的优势:①便于实现基本的、逻辑性不强的重复操作,比如终端交流采样误差试验;②有些测试项是人工不能实现的或者受资源所限实现起来成本较高的测试,比如终端测试中的下行一对多通信压力测试和用采系统综合组网测试等,可通过设置模拟表和模仿用采测试环境对终端进行规约模拟测试,有利于降低检测成本。后文从覆盖率方面实例分析了其各自的特点。

1.2 计量终端自动化功能测试系统测试流程

如图1所示,计量终端自动化功能测试系统首先需要建立被试样品与自动测试系统的硬件连接,然后根据被试终端的技术规范,配置测试方案相关参数,接着开始自动测试,测试系统根据测试方案给被测设备营造测试场景,被测设备随之做出正确的响应,上位机则监测或捕捉被测设备的状态改变。依据测试



梁捷/工程师

关键词/Keywords

计量终端自动化功能测试·
等价类划分·
判定表驱动·
到货验收·

项目的期望输出,判断被测设备的反应是否符合功能需求。当所有项目自动测试完成后,测试系统可自动生成测试报告。

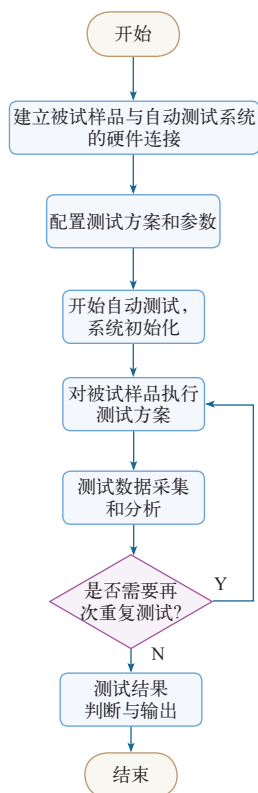


图1 计量终端自动化功能测试系统简要测试流程

2 计量终端自动化功能测试系统的功能验收测试

依照合同及项目管理要求,计量终端自动化功能测试系统到货后,用户使用前需对其性能和功能等项目进行验收测试,关键是验证其设计的检测系统能否按技术规范的要求准确判断各种测试用例。验收测试的用例应代表并覆盖各种合理和不合理的输入数据、误操作等各种情况^[3]。但大量的测试用例逐个测试会增加试验次数,故如何在测试用例选取时平衡测试效率和测试覆盖率是该工作的难点。对此,本文将等价类划分法和判定表驱动法结合实现该系统的功能验收测试。

2.1 等价类划分法

等价类为某测试项输入域的集合,其中的每个元素对揭露测试过程的错误都是等效的^[4]。

定义:对于输入条件 $KC=[K_1, K_2, \dots, K_L]$,若集合 $EC=[c_1, c_2, \dots, c_M]$ 满足:① $KC=EC$;② $\exists C_m \subseteq EC$.使 $C_m=K_l$,成立,其中, $m \in [1, 2, \dots, M]$, $l \in [1, 2, \dots, L]$;③在②的基础上, $\forall (c_i, c_j) \in C_m$ 满足 $c_i \cap c_j = \emptyset$,其中 $(i, j) \in [1, 2, \dots, N]$ 。则称 EC 为 KC 的等价类。

基于等价类的测试用例生成过程为:①分析技术规范列出的要求或条件,建立输入域等价类表;②设计测试用例尽可能多地覆盖那些尚未被涵盖的等价类;③重复步骤②直到所有的等价类都被测试用例所覆盖^[5-6]。

步骤②、③实现的传统方法为多因素析因试验设计法,即生成的等价类涵盖各输入条件(因素)的所有情况,再将其所有的作用组合均形成测试用例。该方法能全面分析各影响因素间的交互作用,但析因设计要求每个因素的不同水平均要进行组合,当研究因素较多或每个因素的水平数较多时,该方法要求的测试用例或试验次数会剧增,以致无法承受^[7]。

2.2 判定表驱动法

对此,引入判定表驱动法简化析因设计法生成的测试用例,判定表由条件桩、动作桩组成,贯穿条件项和动作项的一列就是一条规则,通过合并相似规则或相同动作来简化初始判定表,达到约简判定表规模的目的,合并原则详见文献[8],本节理论的应用见3.2节。

3 实例分析

3.1 人工测试和自动化测试覆盖率比对

以南方电网规约对配电变压器终端的测试项^[9]为例,将自动化测试和传统的手工测试法比较,针对覆盖率(即该方法能测试到的项目数占测试项总数的比例)进行对比统计,结果分别如图2和图3所示。

图2的测试项外观和结构、本地信息显示仅能通过人工测试完成,性能试验除了电压、电流回路功耗外,也仅支持人工测试,功能要求测试中,人工测试未能覆盖的测试项是历史日/月数

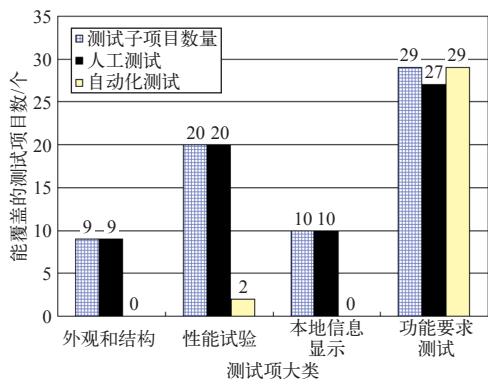


图2 人工测试和自动化测试覆盖率比较

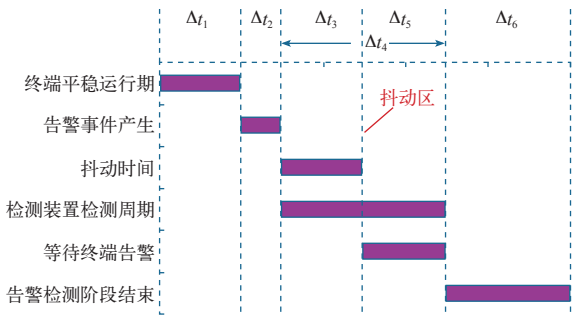


图3 计量装置门开闭自动测试流程甘特图

据，由于该项要求终端将采集的数据（18项）在日末（24：00）形成各种历史日/月数据，要求保存最近30天/12个月的冻结数据^[9]，通过手工校时来制造冻结场景的方式工作量大，故自动化测试实现较方便。从图2的数据可知，人工测试能覆盖的测试项目数占95.6%，自动化测试能覆盖的测试项目数占45.6%，且主要集中在功能要求方面，低于人工测试。由于两种方法的结合能覆盖所有的测试项目，故只要先进行自动化测试，再加上后期的少量人工参与就可以满足实用需求。

3.2 等价类划分和判定表驱动法在计量终端功能测试中的应用分析

以南方电网规约对配电变压器监测计量终端的测试项计量装置门开闭为例，其技术要求为：计量装置门（包括常开和常闭节点）开启和关闭时，终端通过连接到计量装置门的门接点状态判断，默认状态由常开设置为常闭时或由常闭设置为常开时，应立即产生门开或门闭告警，读到门变位后，为防止接点抖动，应在接点状态连续8~10 s稳定后产生事件告警上报^[9]。

该测试项的甘特图参见图3，首先让终端运行在额定工况，去除无关告警，接着改变计量装置门状态，产生告警事件；然后，在图3的抖动区内若测试系统接收到终端上报的数据标识为“E2000001”的告警，则判断被试样品该测试项目不合格，之后开始正式等待终端告警，终端在此阶段上报告警则认为合格，到达等待截止时间 Δt_5 后测试结束。由2.1节的等价类理论和三因素析因设计法，可由上述技术要求确定输入域等价类和初始判定表，如表1和表2所示。

表1 根据输入条件提取的等价类

序号	输入条件	元素编号	等价类中的元素
1	门接点（常开）状态变位时终端是否能产生告警？	1	满足
		2	不满足
2	门接点（常闭）状态变位时终端是否产生告警？	3	满足
		4	不满足
3	告警事件上报时机是否满足抖动要求？	5	满足
		6	不满足

表2 初始判定表

项目		简化前的测试用例编号							
		1	2	3	4	5	6	7	8
条件桩	条件1	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N
	条件2	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y
	条件3	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
动作桩	该项功能合格	/	/	✓	/	/	/	/	/
	该项功能不合格	✓	✓	/	✓	✓	✓	✓	✓

表2中“Y”对应于表1中满足该条件项的等价类元素，“N”反之。按2.2节的判定表驱动法合并相似规则和相同动作，表2简化为表3，例如表2中编号为1、5和6的测试用例对应的规则具有相同动作项，根据合并原则将其合并，得到如表3所示的简化后编号为2的测试用例^[10]。

表3 简化后的判定表

项目	简化后的测试用例编号			
	1	2	3	4
门接点（常开）状态变位时终端是否能产生告警？	Y	—	Y	N
门接点（常闭）状态变位时终端是否产生告警？	Y	N	Y	—
告警事件上报时机是否满足抖动要求？	N	—	Y	—

(续)

项目	简化后的测试用例编号			
	1	2	3	4
期望输出	不合格	不合格	合格	不合格
覆盖表2中的测试用例编号	7	1, 5, 6	3	4, 6, 8
覆盖表1中的等价类元素编号	1, 3, 6	4	1, 3, 5	2

由表3可得能覆盖所有等价类的测试用例1~4。例如按测试用例1设置被试终端样品 e_1 ，它满足常开和常闭接点状态变位时终端能产生告警，告警事件上报时间 $t_{e1}(\Delta t_3 \leq t_{e1} \text{ or } \Delta t_3 \geq \Delta t_5)$ 不能满足抖动要求。

如表4所示，以配电变压器终端的三个测试项^[9]为例，比较了本文方法和析因分析法的效率。可见，等价类中元素数只与测试项的要求有关，本文方法在析因分析得到的初始用例集的基础上，通过判定表驱动法进行用例集缩减，可在等价类全覆盖的基础上，减小测试用例数量，有效加快了测试进度，在包含等价类数量较多的测试项上更为明显，例如测试项3本文方法可缩短约1/3的测试时间。

表4 析因分析法和本文方法比较

项目	测试用例生成方法	测试项1	测试项2	测试项3
		电能表时钟异常	计量装置门开闭	电压监测
等价类中元素数量/个	—	4	6	16
测试用例数量/个	析因分析	4	7	36
	本文方法	3	4	28
测试总用时/min	析因分析	6.3	11.1	240.1
	本文方法	6.1	6.5	159.8

3.3 自动化终端测试装置到货验收测试实例分析

表5为广西某单位自动化终端测试装置到货验收的连续三次测试情况。第一次测试时，根据表3对终端的预制样品 e_1 ，编号为3的测试用例本应为合格的，但装置却判为不合格，检查后发现测试系统为了避免事件产生前的振荡将终端告警主动上报屏蔽字设置为全0，即终端告警被屏蔽了，事件产生后没及时将屏蔽关闭，故测试主站

表5 自动化终端测试装置到货验收测试情况

测试顺序		测试用例编号			
		1	2	3	4
第一次	期望输出	不合格	不合格	合格	不合格
	实际输出	不合格	不合格	不合格	不合格
第二次	期望输出	不合格	不合格	合格	不合格
	实际输出	合格	不合格	合格	不合格
第三次	期望输出	不合格	不合格	合格	不合格
	实际输出	不合格	不合格	合格	不合格

没收到终端的告警，误判为不合格^[11]。第二次测试时，编号为1的测试用例本应为不合格的，但装置却判为合格，检查后发现测试系统未按技术要求考虑3.2节所述的防抖要求，告警事件上报时间落在抖动区内时误判为合格。第三次测试时，所有测试用例的期望输出与实际输出一致，此时依据等价类测试理论，认为装置的该测试项满足预期技术要求。上述测试过程说明所设计的测试用例能准确识别出被测装置的功能缺陷，其设计是合理的。

4 结束语

针对计量自动化测试系统到货验收功能测试难以同时兼顾准确率和覆盖率的问题，将等价类划分法和判定表驱动法结合用于验收时测试用例的生成，并以研究和已开展的应用表明：

1) 对计量终端自动化功能测试系统的功能测试方式，由于被试样品的数量和测试项庞大，人工测试方式效率低下，自动化测试技术的应用避免了测试过程中的人为因素，有利于改善测试准确率。

2) 将等价类划分法和判定表驱动法结合实现计量终端自动化功能测试系统的到货验收的功能测试，以配电变压器监测计量终端的测试项实例说明等价类划分和判定表驱动法的应用，并比较析因分析法和判定表驱动法的效率，结果表明本文方法可在等价类全覆盖的基础上，有效缩减测试用例规模，提升测试效率。

3) 以广西某单位自动化终端测试装置到货验收的三次测试情况为例，分析了所设计的测试用

例识别出被测装置功能缺陷的过程,说明了本文方法设计的测试用例是合理的。

计量终端自动化功能测试系统到货验收功能测试过程中尚存在检测项的设计必要性和技术依据,测试方法的标准化和规范化等问题有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王博. 实验室计量终端综合测试平台的开发与应用[J]. 自动化应用, 2014 (12): 92-93.
- [2] 陈佳鹏. 基于业务逻辑的移动终端软件自动化测试方法研究与应用[D]. 广州: 中山大学, 2009.
- [3] 邓迎秋. Mac OS X平台移植软件测试技术的研究与实现[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [4] 李岩. C++程序的单元测试系统的研究与实现[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2007.
- [5] 杨建光, 梅大成. 黑盒测试方法和综合策略的研究[J]. 计算机光盘软件与应用, 2012 (4): 121-122.

- [6] 帅丹文. 接口测试用例设计思路[J]. 程序员, 2010 (5): 90-91.
- [7] 胡良平, 郭辰仪. 用SAS软件实现析因设计定量资料的统计分析[J]. 药学服务与研究, 2012, 12 (4): 249-251.
- [8] 周飞, 杨根兴, 蔡立志. 基于UML的测试用例生成方法研究[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26 (2): 107-110.
- [9] 中国南方电网有限责任公司. Q/CSG 11109007—2013 中国南方电网有限责任公司配变监测计量终端技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [10] 詹凤. 浅析黑盒测试之决策表法测试技术[J]. 福建电脑, 2014 (10): 85-86.
- [11] 中国南方电网有限责任公司. Q/CSG 11109004—2013 中国南方电网有限责任公司计量自动化终端上行通信规约[S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

(收稿日期: 2016-02-27) **EA**

(上接第82页)

- 法的支持向量机参数优化[J]. 微计算机应用, 2010, 31 (5): 11-15.
- [9] 尹金良, 朱永利. 支持向量机参数优化及其在变压器故障诊断中的应用[J]. 电测与仪表, 2012, 49 (5): 11-15.
- [10] 李新燕. 支持向量机在电缆故障分类中的应用[D]. 西安: 西安科技大学, 2012.
- [11] 王琼瑶, 何友全, 彭小玲. 基于改进遗传算法的支持向量机参数优化方法[J]. 计算机与现代化, 2015 (3): 33-36.
- [12] 许新征. 一种结构自适应的径向基函数神经网络

[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43 (14): 75-76.

- [13] 贾立静, 张建文, 王传林, 等. 基于DGA的差分进化支持向量机电力变压器故障诊断[J]. 高压电器, 2015, 51 (4): 13-18.
- [14] 陆梓端, 高茂林. 基于改进遗传算法的支持向量机参数优化[J]. 研究与开发, 2014, 12 (3): 25-29.
- [15] 宋淑彩, 庞慧, 丁学均. GA-SVM算法在文本分类中的研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28 (1): 222-225.

(收稿日期: 2015-09-10) **EA**