

智能电能表软件测试技术概述*

宋锡强¹, 汪萍萍¹, 周韶园²

(1. 华立仪表集团股份有限公司, 杭州 310023; 2. 浙江省计量科学研究院, 杭州 310013)

摘要:针对软件在智能电能表中发挥的作用越来越大,其质量问题已成为影响电能表产品质量的关键因素的实际情况,软件测试是保证软件质量的最有效措施,所以测试技术应被引进并受到足够重视。文章分析了智能电能表软件测试现状及特点,系统介绍了软件测试的基本流程,测试方法和技术,结合电能表本身状况,研究了关键测试策略。最后,提出了几点对电能表行业合理实施软件测试的建议。

关键词:智能电能表;质量;软件测试;测试策略

中图分类号:TM933

文献标识码:B

文章编号:1001-1390(2014)11-0018-05

Software Testing Technology Overview of the Smart Meter

SONG Xi-qiang¹, WANG Ping-ping¹, ZHOU Shao-yuan²

(1. Holley Metering Limited, Hangzhou 310023, China. 2. Zhejiang Institute of Metrology, Hangzhou 310013, China)

Abstract: The role of software in the smart meter is becoming more and more important, but its quality has become a key factor that affects the meter product quality. Software testing is the most effective measure to ensure software quality, so the test technology should be introduced and be paid enough attention to. This paper analyzed the current software testing situation and characteristics of the smart meter, systematically introduced the basic procedure of software testing, test methods and technology, and in combination with the smart meter status, studied some critical test strategies. Finally, some reasonable suggestions were put forward for implementing the software testing in the watt-hour meter industry.

Key words: smart meter, quality, software testing, test strategies

gies. Finally, some reasonable suggestions were put forward for implementing the software testing in the watt-hour meter industry.

Key words: smart meter, quality, software testing, test strategies

0 引言

近些年,随着智能电网的建设,配套的智能电表已成为关注的焦点,其推广和使用不仅改善了用电条件,提高了配电自动化水平,对于减少电力能耗的消耗也具有重大意义^[1]。智能电表中电能计量、电能控制、在线监测和在线管理等功能基本上都要依赖于计算机程序完成,为了使功能更便捷、准确、智能,电表中软件规模成倍增长,复杂程度越来越高。错误是软件本身不可避免的属性^[2],必然产生了很多由于软件缺陷引起电能表质量的问题,给人们生活或生产造成了影响甚至带来严重后果。研究电能表软件测试技术用以保证软件质量进而保障产品质量将逐渐成为行业内关注的焦点,本文对此

进行了一个探索性的研究。

1 智能电表软件测试现状及特点

1.1 智能电表软件测试现状

目前,整个电子产业在针对电子产品的软件全面测试及质量评估方面国内外都未有成熟统一的标准。JJF1182《计量器具软件测评指南》是我国第一个针对计量产品软件指出测试和型式评价要求的技术性指导文件^[3],但文件主要侧重于对计量器具的法制相关软件在功能的设计和确认上,关于软件全面测评如何实施还没有规范可循。一般电表制造商对电表的软件质量保证是依赖产品阶段的功能验证,开发周期中的软件代码检查主要基于软件调试,几乎不对代码的内部结构进行白盒测试的分析,在行业内没有专业的软件测试概念和技术理论,缺乏系统的测试流程、规范,测试的不充分导致隐藏的软

* 基金项目:2011 国家公益性质检行业科研专项资助项目(201110059)

三相电能表	单相智能电能表	电能表检测	智能电能表	单相电能表	费控智能电能表	
上海松江租房	预付费电度表	浙江电表	上海下线出租车	电能表	上海租房子	茅台酒价格查询
招生考试	单间出租	三相电能表	单相智能电能表	电能表检测	智能电能表	单相电能表

件缺陷在实际使用的过程中爆发,同时软件规模的庞大给开发管理带来了难以可控的问题^[4]。

1.2 智能电表软件测试特点

智能电表内嵌的软件属于典型的嵌入式系统软件。嵌入式系统是指以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可以裁减,适应应用系统对功能

括代码审查和静态分析,测试依据软件详细设计文档,以白盒测试技术为主,黑盒为辅。

集成测试是将经过单元测试的模块按照软件结构组合在一起作为子系统或系统来进行的测试,验证模块间接口的正确性和各部分工作是否达到或实现相应技术指标及要求,可采取白面向下、白底向

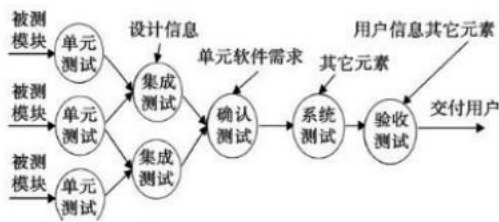
软件。嵌入式系统是指以应用为中心、以计算机技术为基础,软硬件可以裁减,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统^[5],划分成硬件和软件两部分。硬件一般由高性能的微处理器和外围的接口电路组成,软件一般由硬件抽象层、操作系统、板级支持包、应用平台和应用程序几部分组成,有操作系统或没有操作系统,或没有应用平台等。功能更复杂些的电能表平台依赖于嵌入式操作系统,但目前大多数智能电能表平台还是由微处理器直接内嵌应用程序,不含操作系统。

智能电能表平台的软件测试与一般软件测试主要区别在于软件的开发环境和实际运行环境的不同分成基于宿主机(host)和目标机(target)两种环境中的测试,宿主机是运行开发环境的机器,目标机是运行开发之后的软件的机器^[6],即电能表的硬件目标板环境。基于宿主机的测试速度快,测试环境容易构建,但在模拟环境中进行,不能确定软件在实际硬件环境中的问题;基于目标机环境的微控制器种类繁多,空间资源有限,测试环境难以搭建^[7],电能表软件在可信性、安全性、可靠性上的要求更高。

2 一般软件测试方法

2.1 软件测试过程

基于软件生命周期的不同阶段,软件测试可以分为不同的级别,包括单元测试、集成测试、确认测试和系统测试等^[8],过程如图1所示。



证模块间接口的正确性和各部分工作是否达到或实现相应技术指标及要求。可采取自顶向下、自底向上或混合式集成测试策略,主要采用黑盒测试技术辅以白盒测试,先静态后动态。

确认测试是把软件系统作为单一的执行实体而进行的需求有效性测试。主要完成的任务是:测试开发软件的功能、性能以及其它要求是否已满足用户的需要,软件是否被认为是合格的以及软件是否可被接受,确认软件可以和系统中其它部分连接,进入系统测试。

系统测试是把软件、硬件和环境连在一起,对象是完整的、集成的计算机系统,目的是在真实系统环境下验证整个系统的性能、执行强度、安全性和功能是否达到要求,包括性能测试、强度测试、安全测试和可靠性测试等多种综合性测试^[9]。

整个软件生命周期可贯穿于回归测试,目的保证软件在更改后,更改部分是正确的并满足更改需求及更改的没有对软件原有正确的功能、性能和其它规定的要求造成损害。

2.2 软件测试技术

软件测试技术主要包括静态与动态测试,动态测试又包括白盒和黑盒测试。

(1) 静态测试和动态测试

静态测试是不动态执行程序而寻找代码中可能存在的错误或评估程序代码质量的过程^[10]。主要通过代码审查与静态分析进行,检查代码结构的合理性、代码和设计的一致性、执行编码标准的情况等,例如不适当的循环嵌套、不匹配的参数、强制类型转换、空指针的引用等。经验证明,静态测试能够有效发现软件本身30-70%的错误,尤其能够在早期发现产品缺陷,降低后期修改程序所需要付出的代价。

图1 软件测试基本过程

Fig. 1 The basic software testing process

单元测试是对每个最小的软件模块进行的测试,检查各个程序模块是否正确实现了规定的功能^[9]。在对软件单元进行动态测试之前,一般要对软件单元的源代码进行静态测试,静态测试主要包

括静态测试,即在实际运行之前,输入相应的测试用例,检查运行结果与预期结果的差异,判定执行结果是否符合要求,测试内容包括功能确认、接口测试、覆盖率分析、性能分析、内存分析等方面。动态测试关键在于,如何设计测试用例尽可能发现更多的问题,因介入晚,不利于早期发现缺陷。

(2) 白盒测试和黑盒测试

白盒测试把测试对象看作一个透明的盒子,依

据程序内部逻辑结构相关信息,设计或选择测试用例,对程序逻辑路径进行测试,以检测产品内部动作是否按照设计规格说明书的规定正常进行。包括控制流和数据流测试,控制流测试检测所测源代码占代码总数的百分比,包括语句覆盖、判定覆盖、条件覆盖等,防止从不执行到的代码含潜在缺陷,覆盖评价是主要的软件测评手段之一;数据流测试是用对变量的定义和引用进行分析,找出未定义的变量或定义了而未使用的变量。黑盒测试是测试人员完全不考虑程序内部的逻辑结构,把测试对象看做一个黑盒子,只检查程序功能是否按照需求规格说明书的规定正常使用,程序是否能适当地接收输入数据而产生正确的输出信息。

3 智能电能表软件测试策略

3.1 交叉测试策略

智能电能表软硬件结合的特性决定了测试过程中要合理选择测试环境。交叉测试策略将电表软件测试简单划分软/硬件分离和软/硬件集成两大类测试,与硬件无关的大部分测试在 host 中完成,与硬件

快速完成代码编码规则检测、代码结构分析、代码质量度量、代码运行状态下的严重缺陷的检测。典型的静态缺陷分析工具有 Klocwork、Polyspace,规则检测工具 QAC、C++ Test、Logscope 等。动态测试工具又包括白盒和黑盒测试工具,可支持单元测试、集成测试和系统测试,能自动化的构建测试环境、自动生成测试用例、自动执行测试、自动回归测试完成软件需求的确认,还可以进一步提供代码测试的覆盖率信息,同时辅助分析代码运行时的各种性能情况、检测实际运行状态下内存问题等,提高测试的充分性和嵌入式系统的可靠性、安全性,典型的可实施嵌入式软件动态测试的工具包括 Testbed、RTRT、VectorCAST、Tessy、Cantata 等。测试工具要根据具体测试项目合理选择,综合考虑工具可支持语言、平台、测试解决的关键技术、工具的易用性及性价比等。

3.3 智能电能表软件测试方案设计

根据以上测试方法和测试策略可提供一套完整的智能电能表软件测试流程如图3所示。

(1) 首先测试基本过程由单元到系统测试一样

要合理选择测试环境。交叉测试策略将电表软件测试简单划分软/硬件分离和软/硬件集成两大类测试,与硬件无关的大部分测试在 host 中完成,与硬件密切相关的小部分在 target 上完成,再根据需要,将 host 中的测试在 target 中验证。每个测试阶段的测试环境划分基本遵循图 2 所示,除非特别指定单元测试在目标环境下进行,其它所有的单元级测试都可以在宿主机环境进行,集成测试主要在宿主机环境中完成,对于与目标环境耦合紧密的借助目标环境完成,所有的确认测试和系统测试都必须在目标机环境下执行,这关系到嵌入式系统的最终使用。

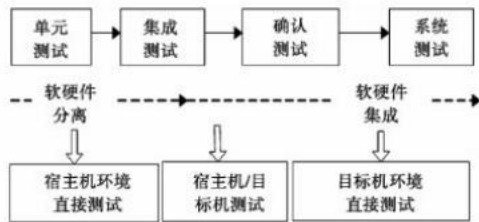


图 2 智能电能表交叉测试策略

Fig. 2 Cross - testing strategies of the smart meter

3.2 应用自动化测试工具

软件测试完全依靠测试人员进行手工测试不仅效率低而且容易产生错误,利用自动化测试工具可缩短测试周期,提高测试质量。嵌入式软件测试工具,主要包括静态测试工具和动态测试工具。静态测试工具技术性越来越高,可在代码非运行状态下

3.3 智能电能表软件测试方案设计

根据以上测试方法和测试策略可提供一套完整的智能电能表软件测试流程如图 3 所示。

(1) 首先测试基本过程由单元到系统测试一样

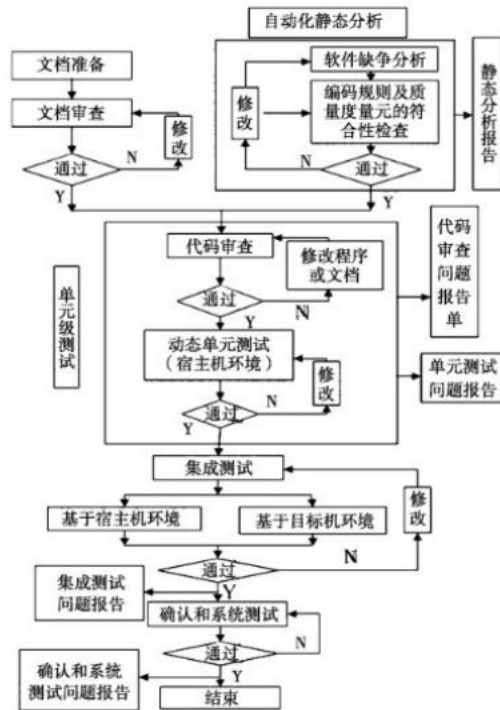


图 3 智能电能表软件测试流程

Fig. 3 Software testing procedure of the smart meter

适用于电能表软件测试;

(2)增加文档审查和静态分析在测试一开始独立列出,主要是强调其针对电能表软件测试的重要性和有效性。文档是执行所有测试的依据,包括系统需求规格说明、软件需求规格说明、概要设计文档和详细设计文档等,目前很多电能表软件的开发比较粗糙,没有详细和完善的文档资料,会给后续软件测试和项目管理带来不便。静态分析的缺陷检测、编码规则、质量度量检测完全可由自动化测试所以逐渐成为较强的测试技术,由于智能电能表主要开发语言是 C 语言,编译器环境一般为主流的 Keil、IAR、HEW、Gcc 等,通用的嵌入式软件静态测试工具都可支持电能表的设计语言和编译器环境,暂不支持的非主流环境可定制。图 4 就是利用 Klocwork 工具(可直接使用静态扫描的方式在第一时间发现常规动态测试方法难以发现的潜藏的数组越界、内存泄露、缓冲区溢出等严重问题)默认规则对基于 IAR 开发环境的一套三相智能电能表代码进行缺陷扫描的结果显示,工具度量出项目总代码行数 50299,检测出类似图中数组越界、变量未初始化等一级缺陷 138 个,经验证其中严重缺陷将直接导致电表产品运行错误。在不需要测试用例的情况下直接静态扫描出动态测试下难以捕捉的大量错误,所以验证利用 Klocwork 此类缺陷分析工具对于电能表软件测试效果显著,且缺陷在早期即可发现。

图 5 是对同套电能表代码利用 QAC 编码规则检测工具中 1700 多条规则点进行测试违背 0~9 级规则的总况,可见违反规则点较多,在编码有严格规定的汽车行业会强制要求利用 QAC 测试源代码不允许

图 5 电能表软件 QAC 规则检测
Fig. 5 QAC encoding rules detection of the Watt-hour meter software

的规则导致的隐患会随实际环境中的运行不断出现,有可能导致产品不定时死机或者陷入死循环。为提高代码的可靠性、可移植性和可维护性,也为提高日益庞大的项目开发的可管控,提高开发人员编码水平。智能电能表产品应该引进规范的编码规则,可参考嵌入式行业公认的成熟 C 语言编码规则 MISRA C 或检测工具中规则集的基础上结合实际项目的经验提取出最合适的电能表软件编码规范。

(3)单元到系统测试的测试环境选择依据上述交叉测试策略的划分。智能电能表目标机环境一般为 8~32 位的单片机或 ARM 内核微控制器,常用的嵌入式软件测试工具 Testbed、RTRT 等采用开放的模板配置或目标机适配技术可完全支持所有 8~64 位的微控制器,使用动态测试工具可支持完成电能表软件的单元、集成或性能、内存分析等测试。

(4)单元测试中首先要基于需求完成电能表功能的测试,其次可结合自动化测试显示的语句,判定



图 4 电能表软件 Klocwork 缺陷检测
Fig. 4 Klocwork defect detection of the Watt-hour meter software

(4)单元测试中首先要基于需求完成电能表功能的测试,其次可结合自动化测试显示的语句,判定等覆盖率补充测试用例达到测试充分。

(5)实际测试中可根据电能表软件的规模,测试需求选择要执行的测试类别。

4 实施智能电能表软件测试过程中的几点思考

智能电能表的软件测试方法、技术也可借鉴军工、汽车等已较成熟的嵌入式软件测试行业,但考虑产品特点,对质量要求的程度、测试现状等情况,在实践过程中还是要探索最适合该行业的路线。

(1)由点到面,循序渐进

软件测试是贯穿于整个软件生命周期的过程,工程量较重,且测试是无止境的,在测试实施的初期,应该采取循序渐进的方式,先从较好实施的自动化静态测试着手,首先杜绝常见的软件缺陷,统一设计语言 C 编码规则等,逐步增加动态单元、集成测

试,由点到面,逐步完善软件测试的工程化。

(2)重视利用先进的测试工具

自动化测试工具是完成软件测试最有效的武器,引入成熟的嵌入式软件测试工具,例如上述验证可有效适用于电能表软件平台的 Klocwork、QAC、Testbed 等,更快的应用到先进的测试技术,搭建起软件测试自动化平台。也可在具备一定的技术实力和条件下,自行开发最符合产品特性的自动化工具。

(3)制定公司内部测试标准和规范

技术和方法是测试的基础,统一明确的测试标

16(8): 116-119.

LEO Ying. The Application Overview of Smart Meters in the Smart Grid [J]. Guangming Science & Technology, 2013, 16(8): 116-119.

[2] 曹云卫. 软件质量工程[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2008: 36-38.

[3] 毛朝冉. 计量器具嵌入式软件测试技术展望[J]. 中国计量, 2012, (7): 68-70.

MEM Shaw-nan. Research on Embedded Software Testing Technology for Instruments of Measurement [J]. China Metrology, 2012, (7): 68-70.

[4] 郭中岳. 图 4 电测与仪表软件-图测与仪表知识网 [J]. 电测与仪表

技术和方法是测试的基础,统一明确的测试标准和规范是确保测试工作正规、有序开展的根本保证。公司应首先制定内部测试内容、测试流程、测试采取的基本方法和准则等,或可基于哪些自动化测试平台,作为指导性文件,使测试有章可依。

(4) 组建专业测试队伍和建立测试管理体系

软件测试作为被引进电能表行业的一个新的技术领域,人员的基础知识薄弱,测试方面理论和实践缺乏,自动化测试工具可替代部分测试工作,但还必须还要依赖人员的设计、分析和使用,所以测试人员的技术实力将决定测试效果的好坏,应重点加强专业测试人员的培养。同时测试是一个长期化、常态化、系统化的复杂过程,测试人员分配和测试流程、测试质量的管控都是能否保证测试持续可靠稳定有序进行的关键,所以测试管理是与技术、策略并行构成软件测试工程的三大要素之一。

5 结束语

文中针对智能电能表行业软件质量有待提高的实际问题,分析了软件测试的测试现状,研究了软件测试的基本方法和智能电能表的软件测试策略,提供了一套完整的电能表软件测试方案,通过测试实例验证和强调了引进自动化的测试工具对智能电能表软件平台的可支持性和测试的有效性,可快速发现软件缺陷,提高软件的测试质量和效率,节约人工成本。智能电能表的软件测试需要由起步到逐渐成熟的一个过程,最后给出了在实际实施的过程中的一些建议,望以上基础的研究能为该领域的深入研究及广泛应用奠定基础。

参考文献

[1] 罗瑛. 智能电表在智能电网中的应用概述[J]. 广东科技, 2013,

(7): 68-70.

[4] 张学琦. 嵌入式软件质量堪忧-测试环节待加强[N]. 中国电子报, 2007-12-20(007).

[5] 魏洪兴, 康一梅, 陈友东, 等. 嵌入式系统设计师教程[M]. 北京清华大学出版社, 2006: 143-145.

[6] 康一梅, 张永革, 等. 嵌入式软件测试[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 56-59.

[7] 蔡建平. 嵌入式软件测试实用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010: 429-450.

[8] GB/T 15532-2008, 计算机软件测试规范[S].

[9] Glenford J Myers. The Art of Software Testing [M]. Weinheim: Wiley, 2004.

[10] 王世刚. 空空导弹嵌入式软件测试技术研究与应用[D]. 北京: 清华大学, 2004.
WANG Shi-gang. Application and Study of Air-air Missile Embedded Software Test Technology [D]. Beijing: Tsinghua University, 2004.

作者简介:



宋锡强(1973-),男,工程师,从事电能计量仪器仪表技术研究。

Email: xiqiang.song@holley.cn



汪萍萍(1987-),女,硕士研究生,从事嵌入式软件测试技术研究。

Email: pingping.wang@holley.cn



周韶园(1977-),男,高级工程师,浙江省计量科学研究院,从事电能计量检测技术研究。

Email: zhouy77@163.com

收稿日期:2014-02-11;修回日期:2014-04-02

(杜景飞 编发)



智能电能表软件测试技术概述

作者: [宋锡强](#), [汪萍萍](#), [周韶园](#), [SONG Xi-qiang](#), [WANG Ping-ping](#), [ZHOU Shao-yuan](#)

作者单位: [宋锡强,汪萍萍,SONG Xi-qiang,WANG Ping-ping\(华立仪表集团股份有限公司,杭州,310023\)](#), [周韶园,ZHOU Shao-yuan\(浙江省计量科学研究院,杭州,310013\)](#)

刊名: [电测与仪表](#)^{PKU}

英文刊名: [Electrical Measurement & Instrumentation](#)

年,卷(期): 2014(11)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dcyyb201411005.aspx



万方数据 WANFANG DATA 文献链接