

一种新的针对仿真系统的测试方法^{*}

赵一丁¹, 李志民¹, 苗凤君¹, 张西广¹, 楚纪正²

(1. 中原工学院 计算机学院, 郑州 450007; 2. 北京化工大学 信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘要: 针对普通被动测试方法的测试目标难以主动控制、被动机制下获取的测试数据实用性和充分性都较低等难点,提出了新的测试方法。建立测试数据获取的被动机制,对数据驱动的准被动测试法和目标驱动的准被动测试法的处理流程分别进行了设计,创建了针对仿真系统测试过程的Z模型,并对Z模型中各环节的技术关键给予设计解释。实践证明,这种测试方法能够发现其他测试方法难以发现的bug,对于仿真系统Z模型相比其他模型有多方面的优势。

关键词: 被动测试; 测试过程模型; 仿真系统; 历史数据; 精度

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)05-1435-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.05.038

New approach of passive testing on simulation system

ZHAO Yi-ding¹, LI Zhi-min¹, MIAO Feng-jun¹, ZHANG Xi-guang¹, CHU Ji-zheng²

(1. School of Computer Science, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China; 2. College of Information Science & Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The target of passive testing is difficult to control, and the test data from passive testing is little practicability, and sufficiency of data is not enough. Through making passive approach to test data from practical production, this paper put forward passive testing based on data and passive testing based on target to overcome these difficulties. Z model was specifically applicable to developing of simulation system, as well details of Z model was show clearly. It proves that passive testing based on data and passive testing based on target can find some bugs which are difficult to be found by other method of testing. Z model has many advantages compared with other models.

Key words: passive testing; testing process model; simulation system; historical data; precision

近几年国内外有关软件被动测试的成果较少,有实践价值的研究进展艰难缓慢。有代表性的如文献[1]研究了在网络安全方面被动测试的方法,文献[2]提出了被动测试中观察者的放置问题,文献[3~5]研究了被动测试的错误诊断标志方法。概括归纳已有成果:被动在线监测可向前、向后根据轨迹来标示错误;在线被动测试中观察者放置最少的解决方案;用被动测试收集启发式信息,然后用这些信息指导后续的主动测试等。但是这些文献成果中的实践问题也比较多,如被动测试的充分性、时间成本高、测试目标的控制等方面问题仍未解决(本文第1章中具体列举了部分难点)。主动测试方面发展迅速,成果举不胜举。对于一般的软件测试,人们习惯于采用主动测试,但有些情况下主动测试无法解决问题。例如,对于一个工业生产在线仿真系统进行测试时,测试人员设计了合理的测试用例^[6~8],要把仿真软件的运行数据和现场真实数据进行对比,实践中的问题较多,各实际生产装置的操作参数往往是不允许因为要组合测试而调节,用户要求不能影响生产,更怕出风险,无法根据主动测试用例设计的输入数据进行数据对比,所以这种主动测试方法有时难以实施。真实环境部署的测试环境才能确保被测系统与真实环境的兼容性,验证并行应用程序不会彼此干扰,发现与其他应用程序之间的意外导致失败交互等问题,真实现场中可能发现模拟测试环境下无法发现

的bug。在 β 测试中用户在线使用的风险也可能很大。所以被动测试对于一些系统投入使用之前非常重要。

本文针对被动测试的测试数据被动获取的实用性和充分性等较差、测试目标难以主动控制等问题,提出了新的被动测试方法,采用基于数据驱动的准被动测试法及基于目标驱动的准被动测试法,创建了新的测试过程模型。

1 实践中被动测试的难点

如果要求测试过程不能影响实际生产,采用普通的被动测试方法很困难。通常在实际现场被动地在线接收数据,不能干扰生产的运行。在实践中容易出现的难点很棘手具体表现在:

- a) 被动测试的目标难以主动控制。
- b) 被动测试的输入数据依赖现场实际生产的真实数据,这些数据对于测试来讲可能不是需要的或是不重要的,而需要的数据出现的时间可能很短、次数很少。
- c) 在线获取的真实数据常常是前后重复相同的,这些数据浪费了宝贵的被动测试实施时间,严重影响了测试效率。
- d) 被动测试的测试数据的充分性问题普遍较大。
- e) 普通的被动测试不设计测试用例,先进的测试方法难以融入。

收稿日期: 2012-08-08; **修回日期:** 2012-09-25 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(71001082)

作者简介: 赵一丁(1967-),男,副教授,硕士,主要研究方向为软件测试、系统仿真、软件工程(sandandwater@sina.com);李志民(1969-),副教授,硕士,主要研究方向为软件工程;苗凤君(1970-),副教授,主要研究方向为软件工程、网络工程;张西广(1979-),讲师,博士,主要研究方向为软件工程;楚纪正(1964-),教授,博导,博士(后),主要研究方向为系统仿真、软件工程。

2 建立获取测试数据的被动机制

在用户实际系统(最好是最终目标环境)中配置一个在线数据跟踪记录工作站,小心地共享真实环境,获取实际现场生产的参数数据。将实时数据添加到生产参数历史数据库中,并配置程序维护处理这些数据。某些数据(如一些人工化验数据、一些采集不完整的现场参数等)在实际现场不能自动获取,为了便于被动测试数据的获取,这时允许少部分地复制最终目标运行环境的仿真环境,但这些技巧性辅助作用的仿真环境不能干扰真实系统的参数数据。需要被测程序能够在最终真实环境中运行,尽可能考虑所有客户预期配置、使用最终配置条件运行。这里有两个关键点:a)获取的数据要真实,不干扰实际系统的运行;b)真实系统(最好是最终目标环境)可加上少量辅助的仿真测试环境,互相协调。

3 数据驱动的准被动测试法

3.1 增强测试数据的充分性

通过各种渠道获取用户长期的真实业务数据,时间越长,提供的测试数据越充分。尽早完成被动机制下获取实际生产参数数据的相关软硬件,并长期跟踪记录实际生产数据,从中得到用于测试的历史数据库(在项目开发的同时)。

3.2 增强数据对测试的实用性

由于很多生产企业的工艺参数长时间基本稳定,导致被动机制下获取的数据长时间基本不变。需要对原始数据库进行处理,使得处理后的数据文件中的数据不出现重复相同。根据经验,原始数据中也包含有少量的失真数据,采用数理统计程序识别并滤除。由于实际生产参数历史数据库过于庞大,可对数据进行自动分类,如可按不同工艺工况、不同事故状态等。

3.3 数据驱动的准被动测试法的处理流程

对于某些测试目标,如仿真预测等类型软件的精度,通过真实系统的数据与仿真系统的计算结果进行比对得到误差。实时的数据不充分,需要把被动机制下获取的历史数据作为比对依据。从处理后的实际生产参数历史数据库中抽出部分数据作为测试用例的输入数据,相关的真实数据作为测试用例的期望输出结果或测试通过标准。处理流程如图1所示。

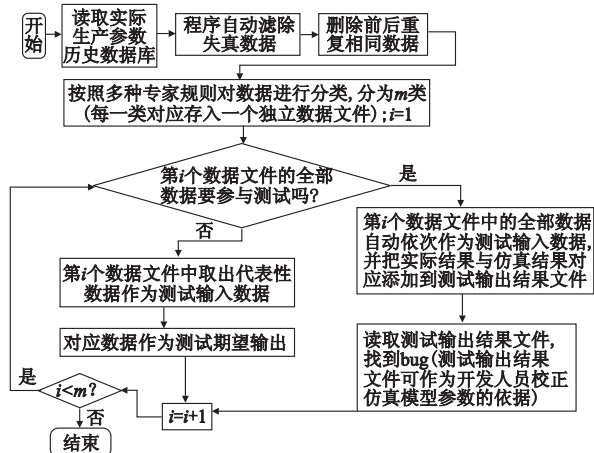


图1 数据驱动的准被动测试法的处理流程

这个处理流程能够实现:相比普通被动测试大大提高了测试数据的充分性;减少了重复数据等的使用,有效增加了测试数据的实用性;减少了被动测试实施成本及时间。

4 目标驱动的准被动测试法

普通的被动测试方法难以事先制定测试目标,难以采用合理的测试方法科学地设计测试输入数据。

4.1 测试目标

在测试实践中,测试人员的测试成本、时间往往是有约束的,要求测试目标应该有侧重点,比如优先级较高的需求功能或性能、新增加的功能、编码改动较大的已有部分、容易出现问题的部分、一旦出现后果风险严重的 bug、经常被用户使用的功能和配置、仿真系统中新创建或修改的数学模型等,从经验上来说,这些方面问题是需要优先验证的测试目标。

4.2 目标驱动的准被动测试的测试用例的设计流程

该方法需要设计测试用例,设计流程如图2所示。其中实际生产参数历史数据的充分性及实用性是这个方法的基础。

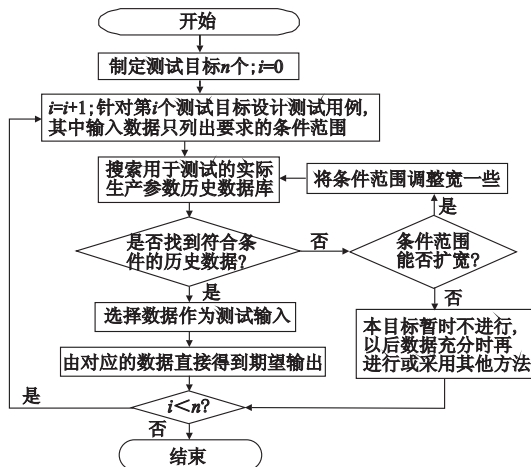


图2 目标驱动的准被动测试的测试用例设计流程

5 测试过程模型

在软件开发测试过程方面已经有不少的模型,如经典的 V 模型、W 模型、RUP 模型、XP 模型等,它们在不同类型项目中取得了较好的实践结果。但这些模型都具有不同的适用条件及优缺点,在不同特点的项目使用中不应该机械照搬。

由于这种准被动测试需要与仿真系统开发过程互相密切配合、互相协调,如被动测试结果数据对仿真数学模型的参数修正作用较大等,所以有必要建立针对仿真系统开发测试过程的专用模型。

5.1 Z 模型图

从长期的仿真项目实践中总结了经验教训,归纳形成了一种针对仿真系统的测试过程模型。采用 PDM 网络图描述,如图3所示。

5.2 Z 模型中各活动的技术关键的简要解释

5.2.1 活动1至活动4

活动1~4同经典的瀑布模型。

5.2.2 活动5

制定测试目标范围。前置任务是活动1,需求范围基本确定,但测试目标不等同于需求分析,经验提示:优先级较高的需求功能或性能、新增加的部分、编码改动较大的部分、容易出现问题的部分、一旦出现对用户后果风险严重的 bug、经常被用户使用的功能和配置等,应该优先作为测试目标。

5.2.3 活动6

制定测试计划。其范围包括主动测试、被动测试和主被动

混合测试。强调与仿真系统开发进度计划的协调一致,作为项目开发计划的子计划。

5.2.4 活动7

设计主动测试用例。

5.2.5 活动8

设计被动测试、主被动混合测试用例。前置任务包括完成测试计划及具备数据量充分的实际生产参数历史数据库。

采用基于目标驱动和数据驱动的准被动测试设计方法,要结合已获取的用于测试的实际生产参数历史数据库来进行。过早地进行这一步骤,可能由于部分数据不充足而效果不好。但也不要过晚,被动测试用例的设计工作量较大,如果仿真软件已经完成编码再进行测试用例的设计完善,有可能浪费开发人员的时间,最好不要让开发人员长时间地等待测试结果。从实践经验来看,测试用例的设计与被测仿真程序编码基本同时完成,是开发和测试的一个理想进度,需要双方协调控制。

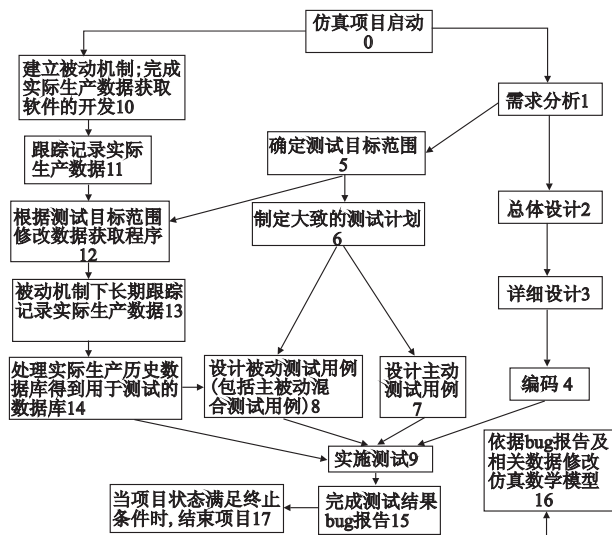


图3 Z模型图

主被动混合测试用例也可大致分为两大类:一类是需要设计测试用例,如依据实际生产参数历史数据库的仿真精度测试、可靠性测试、仿真系统反应时间特性(对于不同的输入数据,由于处理的数学模型及解算迭代次数可能不同及实际硬件的不同等,导致响应速度不同);另一类是不需要设计(或者不需要复杂的测试用例),测试人员直接在用户现场被动机制下在线实施,如某些仿真系统反应时间特性(涉及实际硬件)和实际运行环境的兼容性测试、与其他应用程序之间可能导致失败的交互问题等。

5.2.6 活动9

测试实施包括主动测试、被动测试以及主被动混和测试。被测系统在模拟测试环境中 and 真实现场中的运行结果不一定完全一样,尽量使用最终配置条件运行。在记录时,如果现象难用语言描述,可更多地使用仿真过程界面拷屏图像的技巧。

5.2.7 活动10

在项目启动后,尽早完成获取实际生产参数历史数据的程序及相关硬件配置。越早,测试数据的获取越充分。

5.2.8 活动11

被动机制下跟踪记录真实系统生产数据,刚开始时获取的数据尽量全面,宁可多余也不要遗漏。

5.2.9 活动12

当测试目标基本确定之后,可以对实际生产参数历史数据

库的获取程序进行调整,去掉无关的数据项,以减少系统负荷压力。

5.2.10 活动13

长期被动机制下跟踪记录实际系统生产历史数据,不管是正常工况、事故状态或是开工的过程中等,要尽量不间断。

5.2.11 活动14

原始的实际生产参数历史数据库在用于测试之前,需要进行分析处理,以增强数据对测试的实用性,如滤除失真干扰数据、滤除重复数据、数据分类、数据格式转换等。

5.2.12 活动15

经过对测试实施记录分析处理后,完成测试结果报告。其中,测试中发现的仿真精度方面的 bug 报告要包含详细的仿真系统运行数据及对应的实际系统历史数据,必要时要对相关数据根据测试过程进行分离,并将结果一同交付给开发人员,便于开发人员修改模型参数。

5.2.13 活动16

对于仿真精度方面的 bug,开发人员与测试人员一起依据实际生产参数历史数据库及测试结果相关数据,对涉及到的仿真数学模型进行修改,可能需要测试与仿真模型修改的多次反复迭代。

5.2.14 活动17

当判断系统测试结果达到终止条件时结束测试过程。根据经验,这个终止条件可能有多种情况,不一定是系统质量全部达到要求,可以根据用户需求、成本、时间及与客户的长期关系等多种因素来综合变通处理。

6 实践验证

例如对于一个提升管流化催化裂化在线仿真系统^[9]的测试,其中有一项测试目标:测试再生器顶部氧 O_2 含量与稀密相温差的函数计算的精度。大致步骤如下:

a)在测试设计之前,已经在被动机制下获取了大量的用于测试的实际生产参数历史数据。根据行业经验,并对相关数据进行了统计,可以把 O_2 含量百分比分为三个范围:大于0.5(会引起二次燃烧)、0.5~0.04、小于0.04(会引起碳堆积),那么可以采用等价划分及边界值测试法。

b)选择使用等价划分方法,从用于测试的实际生产参数历史数据库中搜索符合条件范围的数据。 O_2 含量在0.5~0.04属于正常工况,数据很多;而 O_2 含量大于0.5及小于0.04的数据虽然有但很少(O_2 含量过大会引起二次燃烧, O_2 含量接近于0引起碳堆积,已经是事故状态)。这样本文选了三组数据,如表1所示。

表1 符合条件范围的三组历史数据

参数	数据组1	数据组2	数据组3
主风流量/ nm^3/h	1 690	1 693	1 691
再生温度/ $^{\circ}$	642	632	651
再生稀相温度/ $^{\circ}$	676	738	663
烟气中氧含量/%	0.29	0.88	0.02
烟气中CO含量/%	5.41	1.32	8.43
⋮			

c)把再生稀相温度作为输出变量,其他参数作为测试输入,如表2所示。

d)按表2的测试输入数据设计值操作仿真系统,使除再生稀相温度之外的其他相关参数等于输入数据值,记录仿真系统运行的再生稀相温度,并与对应的期望输出再生稀相温度比对。

按上述步骤实施测试,得出了针对具体用户生产装置的仿真系统的准确测试结果。

笔者从20世纪90年代开始从事工业仿真项目的开发,其中进行了针对仿真系统的被动测试的长期摸索,并将主被动混合测试技术在催化裂化在线仿真优化系统、聚炳稀聚合仿真系统、火车站调车仿真指挥系统等项目进行了长期实践。几年前尝试了各种主动测试和被动测试方法,对于需要在线实施的测试内容,主动测试往往不被用户允许(不能影响生产、更怕出风险等),而普通的被动测试实践中出现效率低、不充分、随意、数据重复等现象,效果不好。

表2 测试用例的输入及期望输出表

测试输入数据	测试期望输出
O ₂ 含量:0.29(通过调节微调放空开度)	
再生温度:642(调节外取热催化剂的流量)	再生稀相温度:676
……(数据组1)	
O ₂ 含量:0.88(通过调节微调放空开度)	
再生温度:632(调节外取热催化剂的流量)	再生稀相温度:738
……(数据组2)	
O ₂ 含量:0.02(通过调节微调放空开度)	
再生温度:651(调节外取热催化剂的流量)	再生稀相温度:663
……(数据组3)	

近两年采用数据驱动的准被动测试法、目标驱动的准被动测试法找到了以前其他测试方法无法发现的 bug。尤其对某些特定装置生产过程的动态及稳态仿真精度取得了突破性的结果。Z模型是二十年仿真项目工程实践的经验教训的总结,更适合于在线仿真系统的项目特点。与其他测试模型相比,主要优点如下:a)Z模型将被动测试引入,有利于被测仿真系统的多方面质量指标的验证;b)Z模型强调真实数据获取的被动机制尽早建立,实际系统相关数据长期充分地获取,这有利于被动测试的充分性;c)Z模型将被动测试加以目标引导,提高了被动测试的效率,节省了被动测试的实施时间;d)Z模型强调了被动测试与仿真模型修改的互相协调,对仿真精度的提高作用较大。

(上接第1434页)

5 结束语

Web软件已经成为人们日常生活中使用最多的软件之一,这方面的研究也越来越多。其中,Web软件的非功能需求研究也受到了关注。本文通过分析了ISO模型及“Web软件属性图”;提出了对已有的基于ISO的Web软件非功能需求模型的改进模型。在此过程中,应用了因子分析法来进行模型的比较验证与维度划分,得出了有效的Web软件非功能需求模型。但本文的研究只是Web软件非功能需求方法初步探索,需要更进一步的研究,尤其是在Web软件非功能需求的相关性方面。

参考文献:

- [1] 田精白,何克情. 网络式软件非功能需求分析方法及其应用[D]. 武汉:武汉大学,2008.
- [2] GRIGOROUSIS E, LITOS C, MOUSTAKIS V A, et al. The assessment of user-perceived Web quality: application of a satisfaction benchmarking approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 187(3): 1346-1357.
- [3] TIAN Xia, TAO Mei. Visual quality assessment for Web videos[J]. *Visual Communication and Image Representation*, 2010, 21(8): 826-837.
- [4] XIAO Xiao-cong, WANG Xiang-qun, FU Kai-yao, et al. Grey relational analysis on factors of the quality of Web service[J]. *Physics Pro-*

7 结束语

本文提出的测试方法有效地解决了被动测试在工程实践中的多个难点:a)数据驱动的准被动测试法相比普通被动测试大大提高了测试数据的充分性,显著减少了重复数据的使用,有效增加了测试数据的实用性,减少了被动测试成本及时间;b)目标驱动的准被动测试实现了测试目标能够主动选取,能够将先进的主动测试用例的设计方法引入到被动测试中;c)Z模型实现了基于目标和数据驱动的准被动测试与系统开发过程密切地协调,相比其他经典模型有多方面的优点,本文认为尤其适合于仿真系统的测试过程。

参考文献:

- [1] SHU Guo-qiang, LEE D. A formal methodology for network protocol fingerprinting[J]. *IEEE Trans on Parallel and Distributed Systems*, 2011, 22(11): 1813-1825.
- [2] 赵保华,郭雄辉,钱兰,等. 被动测试中观察者放置问题[J]. *计算机研究与发展*, 2005, 42(10): 1815-1819.
- [3] 郭雄辉,赵保华,钱兰. 被动测试中的错误诊断算法[J]. *中国科学技术大学学报*, 2005, 20(3): 78-83.
- [4] 赵保华,张炜. 协议被动测试的错误标识[J]. *小型微型计算机系统*, 2007, 35(1): 15-18.
- [5] 赵保华,张炜,林华辉,等. 一种通信有限状态机的被动测试及其错误诊断[J]. *西安交通大学学报*, 2007, 24(6): 640-644.
- [6] 李秋英,李海峰,徐刚. 基于覆盖率信息的软件可靠性增长测试实践[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27(7): 2594-2597.
- [7] 王子元,最长海,徐宝文,等. 相邻因素组合测试用例集的最优生成方法[J]. *计算机学报*, 2007, 30(20): 200-211.
- [8] 王立新,杨峻,万仁霞,等. 基于树模型和输入参数关系的组合测试集精简方法[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27(3): 928-932, 937.
- [9] 赵一丁,李志民,楚纪正. 一种关联历史数据的催化裂化在线仿真[J]. *系统仿真学报*, 2012, 24(7): 1137-1142.

cedia, 2012, 33(3): 1992-1998.

- [5] NABIL D, MOSAD A, HEFNY H A. Web-based applications quality factors: a survey and a proposed conceptual model[J]. *Egyptian Informatics Journal*, 2011, 12(3): 211-217.
- [6] BEHKAMAL B, KAHANI M, AKBARI M K. Customizing ISO 9126 quality model for evaluation of B2B applications[J]. *Information and Software Technology*, 2009, 51(3): 599-609.
- [7] 罗新星,朱名勋. 可信软件中非功能需求 FO-QSIG 冲突权衡模型[J]. *系统工程*, 2010, 28(2): 101-105.
- [8] 罗新星,朱名勋,唐中君. 可信软件需求获取与分析研究综述及展望[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27(10): 3617-3621.
- [9] ZHU Ming-xun, LUO Xin-xing. A non-functional requirements tradeoff model in trustworthy software[J]. *Information Sciences*, 2011, 191(3): 61-75.
- [10] DAVIS A, OVERMYER S. Identifying and measuring quality in a software requirements specification[J]. *Software Metrics Symposium*, 1993, 10(2): 141-152.
- [11] TANG Zhong-jun, LIU Shu-qin. The constructing method of meta-requirement analysis model[C]//Proc of the 3rd International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering. 2010: 118-121.
- [12] 罗新星,王卫芳. 基于本体的元需求模型与元需求集研究[J]. *计算机应用研究*, 2012, 29(4): 1391-1394.
- [13] BAUDRY B, NEBUT C, Le TRAON Y. Model-driven engineering for requirements analysis[C]//Proc of the 11th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference. 2007: 459-466.