

引用格式:赵刚,郑军,封二强. 基于虚拟设备的数据记录软件测试环境研究[J]. 微电子学与计算机, 2019, 36(7): 70-75.
[ZHAO G, ZHENG J, FENG E Q. Research on data recording software testing environment based on virtual device[J]. Microelectronics & Computer, 2019, 36(7): 70-75.]

基于虚拟设备的数据记录软件测试环境研究

赵 刚¹, 郑 军^{1,2}, 封二强¹

(1 中国航空综合技术研究所 质量工程产品部, 北京 100028;

2 国家质量监督检验检疫总局 质量基础设施效能研究重点实验室, 北京 100028)

摘 要: 当前机载数据记录类软件测试过程中, 对软件输出的存储接口进行测试时, 因大量重复的下载过程或大量改动源程序而造成测试效率低下、测试结果可信度低等问题. 本文以通用自动化测试平台为基础, 提出了一种基于虚拟设备的测试结果输出机制, 通过替代并模拟真实的物理存储设备, 将写入存储设备的数据实时转发至测试监控终端, 从而解决下载查看和程序插装测试方法带来的效率和可信度问题. 最后通过搭建基于虚拟设备的数据记录软件测试环境原型工具验证了该方法的可行性.

关键词: 数据记录软件; 软件测试; 虚拟设备; 自动化测试环境

中图分类号: TP311. 56

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2019)07—0070—06

Research on data recording software testing environment based on virtual device

ZHAO Gang¹, ZHENG Jun^{1,2}, FENG Er-qiang¹

(1 Dept. of Quality Engineering Technologies, China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China;

2 Key Laboratory of Quality Infrastructure Efficacy Research, AQSIQ, Beijing 100028, China)

Abstract: In traditional airborne data recording software testing process, many problems occurred when testing the software storage output interface because of the repeated download process or too many code instrumentation, such as low efficiency and low credibility. In order to improve the efficiency and credibility of the test, a storage data output mechanism based on virtual device is proposed. By replacing the real physical storage devices, the virtual device transmits the data written to the storage originally to the test monitoring terminal in the testing environment. Finally, the feasibility of the method is verified by building a virtual prototyping environment based on virtual instrument.

Key words: data recording software; software testing; virtual device; automatic test environment

1 引言

数据记录功能广泛存在于机载系统各个设备中, 尤其在新一代航空电子系统中, 数据记录器已成为飞机故障预测与健康管理系统(PHM)中的核心组成部件之一, 在飞机的航空发动机、起落架、飞行

控制等安全关键系统的参数分析与记录中起到无法替代的重要作用. 而数据记录软件作为记录器的核心, 承担着复杂数据的分析、统计、归纳、计算、总结、记录等工作, 进而实现对飞机运行特性的分析, 堪称机载数据管理员^[1]. 因此, 在军用软件工程化管理中, 数据记录类软件通常作为重要及以上等级开展

软件鉴定和定型测评,以充分保证机载数据的完整、准确、有效和价值。

机载数据记录类软件的传统典型应用案例为防护记录器软件,亦即“飞机黑匣子”软件;在新一代飞机上的典型应用还包括 PHM 系统记录软件、发动机健康管理软件等,该类软件功能相似,具有输入数据量大、控制逻辑简单、分段判断逻辑众多、分类数据处理量大、输出接口单一等鲜明的软件特点^[2]。开展此类软件测试时,通常采用专用的测试设备,分别对每一个参数的不同分段上的有效值、异常值、边界值逐一设置,然后下载记录在存储设备中的数据报告或数据履历信息,通过专用测试设备查看参数的归类及记录的正确性,进而验证软件功能实现的正确性。该方法需要测试人员重复性的设置输入数据、下载存储设备中的输出数据、判断输出结果,因而重复劳动量大、效率低下。

当前市场上存在多种自动化测试平台,如 ADS2、GESTE、HRT2000 等,此类测试工具平台因其接口丰富、建模方法强大、脚本用例灵活、通用性强等特点被广泛用于机载嵌入式软件测试中;然而针对机载数据记录软件,此类平台仅能提供输入数据激励,无法针对数据存储结果进行读取和验证,从而无法有效解决数据记录软件的自动化测试问题。

本文采用虚拟设备及数据仿真技术,基于自动化测试平台架构,提出了一种机载数据记录类软件自动化测试环境,支持测试数据的自动激励、测试结果的自动判断,能够有效提高数据记录类软件的测试效率和质量。

2 机载数据记录软件特点分析

机载数据记录系统通常由采集器、记录器组成,通过采集器将其他机载系统产生的数据按照一定协议采集打包,再交由记录器进行数据的处理和存储,最终输出至电子盘、快取卡等存储设备,或发送给其他机载设备;待飞行任务结束后,再通过地面维护软件下载存储设备中的数据,完成分析。其典型工作环境如图 1 所示。

机载数据记录类软件为适应不同的机载设备,适配有丰富的总线接口,通常包括模拟量、离散量、频率量、RS232/422/485、CAN、ARINC429 等接口,各个接口类型通常又包含不同数量的通道,而各通道往往采用不同的接口协议。因此,机载数据记录类软件具有接口众多、类型丰富、协议复杂的特点。

数据采集过程将不同类型、不同通道和不同协

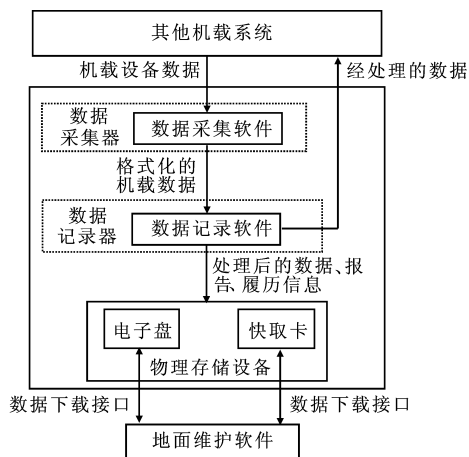


图1 机载数据记录软件典型工作环境

议的数据进行统一采集和整理,通过高速内部总线传送到记录器。数据记录软件运行于记录器中,按照预置的配置表要求,分别对每一项机载数据进行分析、统计、归纳、计算和总结,最终形成相应的数据报告或履历信息,并保存至电子盘等存储设备中以备地面维护使用,或将数据处理结果发送至其他机载设备^[3]。可见,数据记录类软件具有数据处理量大、处理逻辑多等特点,同时因其功能的限定,该类软件也具有控制逻辑简单的特点。

机载数据记录软件处理结果的输出往往包括两种方式:一是存储于电子盘等存储设备;二是发送至其他机载设备。为了安全可靠起见,向存储设备写入处理后的数据时,需先判断存储设备的有效性,通常是将存储设备格式化为块、片、页等子存储区域^[4],然后在数据写入前分别执行数据擦除和区域损坏判断操作。

3 测试方法与环境需求分析

3.1 工程测试方法

针对数据记录类软件的特点,在工程实践中开展此类软件测试时,一般采用专用的测试设备,分别对不同参数的各分段值和边界值逐一设置,然后下载并查看存储设备中记录的数据报告或数据履历信息,人工逐一判断存储结果的正确性,从而验证软件功能实现的正确性。有时软件研制人员为方便测试,在软件中向存储设备写入数据时,插装了一定的辅助测试代码,用来将相关数据直接打印输出至监控终端,如图 2 所示,避免了从存储设备重复下载数据所带来的时间耗费,提高了测试效率。

然而该方法规避了存储设备的写入、读出、擦除等操作,与实际运行环境存在一定差异性,无法完全

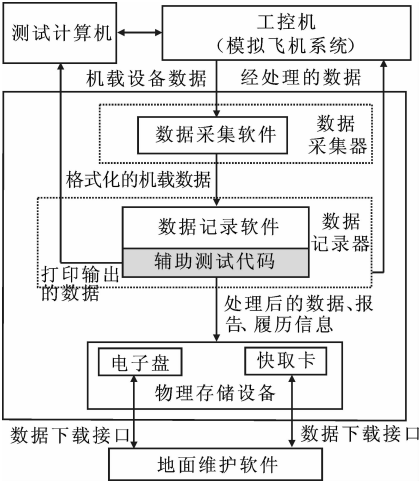


图 2 数据记录软件的常用测试方法

满足测试质量要求；而且该方法仅减少了测试人员进行数据下载的工作量，并未从输入数据设置、输出数据判断等影响测试效率的根本上解决问题，在工程操作中仍具有较大局限性。

3.2 测试环境需求分析

数据记录类软件测试中存在许多重复性强、规律性明显的操作，适宜构建自动化测试环境，为测试数据输入和输出结果查看提供自动化的辅助测试手段。

(1)测试数据需求

数据记录类软件作为机载参数的管理员，管理的机载参数数量众多，接口来源复杂，接口形式多样，而且每一数据又根据逻辑关系存在有效范围值、异常值、边界值，输出结果具有相等、归类、计算等较为统一的形式。因此，自动化测试环境应能提供满足被测系统接口需求的不同分段取值数据，并支持数据的总线形式配置、数据的范围及边界设定等能力。

(2)测试输出观测需求

传统测试环境中，解决测试输出观测的重点是如何通过被测软件输出接口将测试数据集中收集后显示给测试人员；而数据记录软件的测试输出观测要解决的重点不限于此：数据记录软件的最终输出接口是设备内部的存储设备，而非传统的总线接口，因此该类软件的测试环境还要解决如何从存储设备中获取结果数据，并提供实时性较高的存储结果查看机制，方便测试人员通过测试环境在短时间内得到存储验证结论，避免重复的无用劳动，转而将测试精力集中于测试设计及测试结果。因此，自动化测试环境需具备存储结果查看及实时验证能力。

(3)测试结果判定需求

在完成大数据量的正常、异常和边界值数据采集后，数据记录软件根据健康管理系统要求做出处理，将结果数据进行存储后会形成大量的数据记录报告或记录履历，通过人工查看确认这些报告和履历的正确性不仅效率低下，且可信度低。而在测试环境中，通过输入输出关系模型建立输入数据与输出结果的对应关系，便可自动分析得到测试结果数据的正确性，可大大提升测试效率和可信度。因此，自动化测试环境需具备测试结果自动判定能力。

4 自动化测试环境设计

4.1 工作原理

根据数据记录类软件测试环境需求分析，设计满足测试数据生成、输出结果观测和测试结果判定要求的自动化测试环境，其工作原理如图3所示。

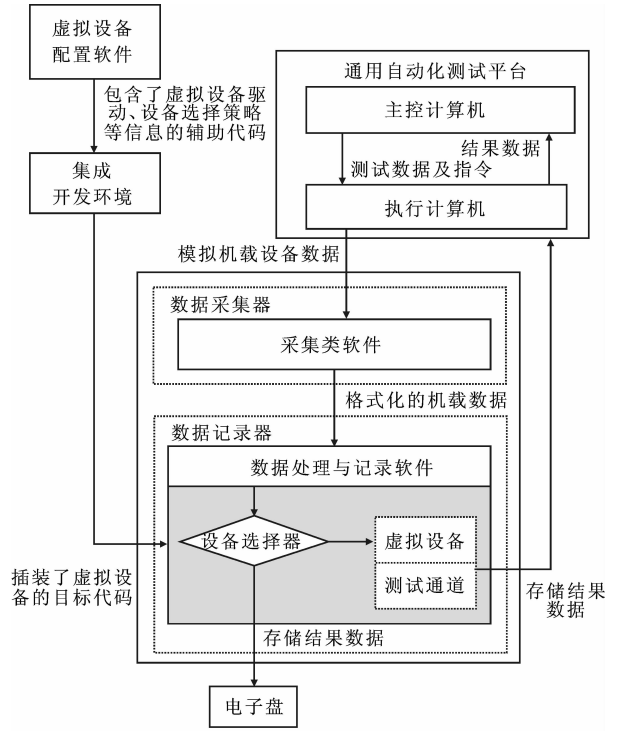


图 3 数据记录软件测试环境工作原理

以成熟的通用自动化测试平台为基础，采用其强大的测试接口建模能力完成测试输入数据接口描述，并基于该描述通过测试数据生成模块生成符合数据记录软件输入参数范围及分段约束的测试数据；然后利用测试平台执行计算机中丰富的总线接口将测试数据发送给被测系统；待被测系统软件运行，将运行结果存储于虚拟设备中，由虚拟设备将软件运行结果实时转发给测试平台的执行计算机；执行计算机再将数据上传至测试平台的监控中心，实

现存储数据的实时显示;最后由测试结果判定模块通过关系匹配模型或手动判定方式产生测试结果,生成测试报告。

其中接口建模、测试数据生成、测试监控配置、总线接口支持及测试报告生成功能均为通用自动化测试平台提供的成熟技术,而虚拟设备是由虚拟设备配置软件通过对虚拟设备工作模式的配置生成,是本文重点研究的关键技术。

4.2 关键技术

4.2.1 通用自动化测试平台技术应用

通用自动化测试平台为软件测试工程实践提供了较为通用、完善的解决方案。目前市场上主流的通用自动化测试平台通常具备接口建模功能、测试数据(或用例)生成、仿真建模、测试监控配置、总线接口支持、测试报告生成等功能特点^[5]。在数据记录类软件测试环境中,以通用自动化测试平台的上述技术为基础,形成基本的测试输入与测试输出平台。

涉及的通用自动化测试平台应用模块主要包括:

(1)接口建模功能:通过图形化或脚本化的描述形式,描述被测系统的外部交联环境及接口关系,支持总线类型描述、总线属性配置、接口应用层数据变量描述、变量属性配置等;

(2)测试数据(或用例)生成功能:基于接口变量描述,通过内置数据生成算法或用户自定义的脚本用例,生成能够覆盖正常、异常及边界范围的测试数据;

(3)测试监控配置功能:将测试过程中测试人员重点关注的数据进行多种形式的实时查看;

(4)总线接口支持:为满足测试平台对航空嵌入式软件的通用性测试,提供了类型丰富且数量众多的航空常用总线接口;

(5)测试报告生成:通过测试数据关系模型对测试结果数据进行分析,与测试输入数据进行对比和映射,通过自动或手动判定方式完成对测试结果的判定,最终汇总生成测试报告。

针对数据记录类软件输入参数数量庞大、协议复杂、类型繁多、分段逻辑众多的特点,基于通用自动化测试平台,通过主控计算机 ICD 建模工具,将数据记录器软件各类总线按照协议进行形式化,从而将每一个待记录处理的参数以变量的形式进行管理;然后利用主控计算机的用例生成工具或测试脚本工具生成针对每个参数的可表达范围、有效范围、分段边界的测试数据,使生成的测试数据集覆盖

盖每个参数的可表示值、有效范围内正常值、有效范围外的异常值、分段边界处的边界值。将测试数据通过执行计算机总线接口发出后,再通过测试通道接收被测软件的响应结果,即原应存储于真实物理设备中的结果数据。通用自动化测试平台执行计算机接收该部分数据后上报至主控计算机,通过主控计算机的实时数据监控工具验证数据的正确性,亦即判定测试用例是否通过的过程。按照 ICD 要求对结果数据进行格式解析,然后按照对应的数据变量进行一致性判定。

4.2.2 虚拟设备技术

针对以往输出结果观测的过程,采用虚拟设备替代物理存储设备的方式,可极大简化输出结果查看流程。

数据记录类软件因其架构复杂性,通常采用 VxWorks 操作系统或国产天脉 ACore OS 操作系统管理存储设备。针对数据记录软件设计的虚拟设备就是基于操作系统的设备管理机制建立的非真实存在设备的驱动程序,其创建过程、注册方法、访问与使用过程与真实的物理存储设备均相同,只有设备驱动内的实现内容不同^[6]。真实物理存储设备在创建驱动函数时,函数实体内为真实的设备访问过程,包括了各种寄存器的读写操作和逻辑判断;而虚拟存储设备的驱动函数内部,无需访问寄存器,也不进行各种逻辑判断,仅将写入的存储数据进行实时转发,或根据测试需要将特定的故障模式反馈至数据记录软件。该设计方法基于数据记录软件的应用层与驱动层分层设计结构^[7],能够有效降低为方便测试过程而对原软件进行的改动规模。

在虚拟设备中,主要完成数据的实时转发和存储故障模拟两大功能。基于通用自动化测试平台,在其主控软件体系中设计虚拟设备配置软件,能够对虚拟设备的实时转发和存储故障模拟进行配置;数据实时转发能够支持文件格式和地址格式的两类数据传输,以适应不同类型的数据记录形式;存储故障模拟可实现对存储失败、存储区满、存在坏块等故障类型的模拟,并可设置为基于时间、基于数据等不同形式的触发方式^[8]。

虚拟设备将接收的数据进行实时转发需开辟一条辅助测试通道,该通道利用研制过程中辅助测试所用的以太网或串口通道,将存入虚拟设备的数据转发至测试通道接口。该测试通道的配置需符合虚拟设备的转发机制,因此其配置过程也由虚拟设备配置软件完成。然而,利用该测试通道后,数据记录

软件中原有的使用测试通道的功能需要关闭,相应代码需被屏蔽,以避免测试通道的访问冲突。

采用虚拟设备代替真实设备时,数据记录软件源程序需进行必要的代码插装。为减少源程序的插装工作量,设计一种设备选择器,方便研制人员及测试人员在虚拟设备与真实设备之间灵活切换。设备选择器通过改变编译过程中对设备的选择逻辑分支,能够在操作系统启动阶段或应用程序初始阶段控制设备驱动程序的创建选择,可在虚拟存储设备和真实物理设备之间二选一。当选择一种方式后,软件运行期间无法切换至另一种设备访问方式。设备选择器在进行驱动创建时起作用,若选择虚拟设备,则将真实设备用虚拟设备替换,且不再对真实设备创建驱动;同理,若选择真实设备,则虚拟设备驱动不再创建。设备选择器的选择操作与虚拟设备配置工作一起在虚拟设备配置软件中进行。

完成虚拟设备基本配置后,将配置形成的虚拟设备驱动代码、测试通道配置代码、设备选择器代码通过数据记录软件的集成开发环境,与被测的数据记录软件一起编译后下载至记录器中等待运行。

4.3 工作过程

根据虚拟设备的工作原理,结合通用自动化测试平台的工作机制,设计基于虚拟设备的数据记录类软件自动化测试环境工作过程^[9]:

(1)依据数据记录软件采集接口 ICD,建立接口模型,生成符合通用自动化测试平台要求的接口描述文件;

(2)通过用例生成工具或测试脚本工具,产生测试用例数据;

(3)通过虚拟设备配置工具配置虚拟设备信息,包括设备选择器控制、虚拟设备实时转发通道配置、虚拟设备故障模式选择及其触发过程设置,最后生成能够被集成编译环境加载编译的虚拟设备驱动源代码文件;

(4)重新编译被测数据记录软件:将虚拟设备配置软件生成的源代码加入到被测数据记录软件工程中,手动屏蔽原软件中测试通道代码,在编译后下载至数据记录器中;

(5)配置实时数据监控终端:在通用自动化测试平台中配置数据监控,包括数据格式查看、数据内容查看等,同时对于符合关系模型判定规律的数据,编辑其测试通过准则;

(6)测试初始化:对测试平台通讯总线、测试数据、虚拟设备进行初始化;

(7)测试执行:通过执行计算机发出原始测试数据,经被测数据记录系统处理后,通过虚拟设备转发存储结果至测试执行计算机,再由测试执行计算机上传至主控监控中;

(8)测试总结:将主控计算机监控中心获得的测试执行结果通过手动或自动方式判断正确性,并生成测试报告。

基于虚拟设备的数据记录软件测试环境操作过程依赖于自动化测试平台的工作流程,而不同测试平台的工作流程又不尽相同,上述工作过程涉及测试平台操作的描述仅为示意工作内容,并不代表实际必须的执行步骤与顺序。

5 应用实例

为验证基于虚拟设备的数据记录软件测试环境构建方法的有效性,研制了一套虚拟设备配置工具的验证原型软件,结合通用自动化测试平台 HRT2000 系统的既有功能,组成较为完整的数据记录类软件测试平台原型;将该平台试用于某型发动机健康管理机载软件测试项目中,对其故障诊断及预测、趋势分析以及寿命管理功能分别进行了配置项级动态测试,与传统测试方法相比,显著节省了重复性数据下载操作的时间,避免了存储前插装打印的测试可信性问题,有效提高了软件测试质量。

6 结束语

本文分析了机载数据记录软件的工作环境特点,并总结了工程中常用的数据下载测试方法和程序插装测试方法的弊端。然后通过分析数据记录软件测试环境需求,在通用自动化测试平台的成熟技术基础上,提出虚拟设备测试方法,分析了虚拟设备在数据记录软件中的设计策略,阐述了基于虚拟设备的机载数据记录软件自动化测试环境组织结构,最后通过实验验证了虚拟设备测试策略的可行性。下一步将研究在虚拟设备内部增加仿真算法,从而更加真实地模拟物理存储设备,减小测试环境与真实运行环境的差异。

参考文献:

- [1] 乔晋龙,李冠林. 一种飞参记录数据解析软件的设计与实现[J]. 电子设计工程,2016(13):21-22.
- [2] FINCHAM W. Data recorders for accident investigation[J]. IEEE Colloquium on Monitoring of Driver & Vehicle Performance, 1997, 122 (6): 1-3.

[3] 杨佳. 航空发动机数据记录软件文件系统设计[C]//第七届中国航空学会青年科技论坛. 珠海,中国:中国航空学会,2016.

[4] 郭小兵,李圣昆,贾兴中. 基于弹载存储系统的高速固态数据记录器设计[J]. 微电子学与计算机,2013,30(2):25-38.

[5] 郑军,刘畅,任占勇. 综合模块化航空电子软件测试环境[J]. 计算机工程与设计,2011(8):2737-2740.

[6] 张海军,王艳军,刘海见,等. 基于 ADS2 的嵌入式软件测试仿真建模方法研究[J]. 电子技术应用,2014,40(6):17-19.

[7] FU R Y, SU H, FLETCHER J C, et al. A framework for device capability on demand and virtual device user experience[J]. Ibm Journal of Research & Development, 2004, 48(56):635-648.

[8] 徐璐,石晶,郝博. 基于任务场景的测试需求建模方法[J]. 计算机工程与设计,2015(4):1009-1014.

[9] 高虎,郑军,田曾昊. FPGA 板级自动化仿真测试环境框架设计[J]. 微电子学与计算机,2017,34(12):94-99.

作者简介:

赵 刚 男,(1987-),硕士,工程师. 研究方向为软件测试、FPGA 测试. E-mail:zhaogang_0220@163. com.
郑 军 男,(1969-),硕士,研究员. 研究方向为软件工程、FPGA 与软件测试.
封二强 男,(1984-),硕士,高级工程师. 研究方向为软件可靠性工程、软件测试.

(上接第 69 页)

[10] 薛亮,王燕龙,李志华,等. 无线传感器网络中基于数据融合的时变速率路由算法[J]. 微电子学与计算机,2015,32(12):130-135.

[11] SHI L, LI M Y, LI X. WSN data fusion approach based on improved BP algorithm and clustering protocol[C]//The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC), Qingdao, China, 2015: 1450-1454.

[12] 徐良凤,张曦煌. 低延迟和低能耗的无线传感器网络数据融合算法研究[J]. 微电子学与计算机,2017,34(9):11-14.

[13] YU Y, FENG X, HU J. Multi-sensor data fusion algorithm of triangle module operator in WSN[C]//2014 10th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks. Maui, HI, 2014: 105-111.

[14] XIE K, NING X P, WANG X, et al. An efficient privacy-preserving compressive data gathering scheme in WSNs[J]. Information Sciences, 2017(390): 82-94.

[15] 叶继华,王文,江爱文. 一种基于 LEACH 的异构 WSN 能量均衡成簇协议[J]. 传感技术学报,2015,28(12): 1853-1860.

[16] HINTON G E, OSINDERO S, TEH Y W. A fast learning algorithm for deep belief nets [J]. Neural computation, 2006, 18(7): 1527-1554.

作者简介:

黄 颖 女,(1987-),硕士,讲师. 研究方向为无线传感器网络. E-mail:huangying_78@163. com.
费 莉 女,(1988-),硕士,讲师. 研究方向为测试计量技术及仪器.
赖小龙 男,(1987-),硕士,讲师. 研究方向为移动无线传感器网络.