

可靠性鉴定试验受试样品的软硬件联合测试技术

王春晖, 邱述斌

(海军装备部飞机办办公室, 北京 100171)

摘要: 为了研究一种可靠性鉴定试验中受试样品的软硬件联合测试方法, 首先总结了软硬件联合测试的目的、对象、实施时机及传统测试需要的改进之处和可借鉴之处, 进一步研究了软硬件联合测试与传统可靠性试验的关系。然后在考查软件与硬件测试结合的基础上, 提出了两层结构立体测试运行剖面的方法, 即利用子剖面与环境剖面的对应关系建立软件测试与硬件测试的联系, 将两种测试统一在同一时间轴上, 得出了软硬件联合测试的一般流程。

关键词: 可靠性试验; 硬件与软件; 联合测试; 立体测试; 环境剖面

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.02.012

中图分类号: TB114.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)02-0064-05

Study on Hardware-software Join Test Technology for Reliability Qualification Test

WANG Chun-hui, QIU Shu-bin

(The Plane Office of Navy Arming Department, Beijing 100171, China)

ABSTRACT: Reliability test is an important means for ensuring the product quality. With the increasing application of embedded software, hardware and software interface has become increasingly blurred, software and hardware failures affect each other, but at present, there is no systematic test theory of hardware and software, and also no mature hardware and software jointly testing techniques or processes. To address this problem, first, this paper summarized the traditional testing which needs to be improved and can learn lessons from, on the basis of examining a combination of software and hardware testing, a two-tier structure of three-dimensional test running profile was proposed. The connection of hardware testing and software testing was built according to the corresponding relation between Sub-profile and the environment profile, and the two testings were then united in the same timeline, achieving the general process of Hardware-Software Co-Test.

KEY WORDS: reliability test; hardware and software; joint testing; three-dimensional test; environment profile

收稿日期: 2013-12-09; 修订日期: 2014-01-17

Received: 2013-12-09; Revised: 2014-01-17

作者简介: 王春晖(1968—), 男, 湖北孝感人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为航空装备科研管理。

Biography: WANG Chun-hui (1968—), Male, from Xiaogan, Hubei, Master, Engineer, Research focus: aviation equipment scientific research management.

当前许多产品硬件与软件的界面变得越来越模糊,已经难以将产品简单地分为硬件部分和软件部分。软件与硬件的故障相互影响,有些故障在单独测试硬件或软件时不会发生,但作为一个系统时则会出现。目前,尚没有完整的标准规范软硬件综合产品的设计制造和检测,也没有成熟的软硬件联合测试方法^[1-4]。怎样设计出规范、实用的软硬件联合测试方法,成为软硬件综合产品试验中一个亟待解决的问题。

1 软硬件联合测试的概念

1.1 目的、对象和分类

软硬件联合测试有以下3个目的:作为软硬件独立测试的有力补充和积极改进,发现独立测试中难以发现的故障,定位故障发生的位置,分析故障发生的原因,反馈给承制方进行改进,提高产品的可靠性;作为验收结果的重要依据,给出接收与否的结论;研制过程中实现可靠性的增长。

软硬件联合测试由硬件部分和软件部分共同构成的产品,包括先进的武器装备、精密的航空航天器,也包括信息化程度、可靠性要求较高的民用产品。

从试验目的的角度来分,软硬件联合测试可用于增长试验也可用于验证试验,文中的研究作为验证试验的联合测试。从试验场地的角度来分,软硬件联合测试属于实验室试验,要求在实验室(内场)的条件下进行。从抽样方式的角度来分,软硬件联合测试属于抽样试验,不属于全数试验。从施加应力类型的角度来分,软硬件联合测试属于模拟试验,不属于加速应力试验,即应力应尽量模拟实际使用情况。

1.2 实施时机、试验平台

软硬件联合测试(用于验证试验时)是针对产品这一完整的软硬件系统进行的试验,因而必须等待产品研制基本结束,软件开发初步完成,硬件设计制造完成。具体的来说应在产品设计定型和交付使用前。

软硬件联合测试应在传统硬件可靠性试验平台(综合应力试验箱、传感器、计算机控制程序平台)的基础上^[5],融合软件测试的常用平台,两个平台要做

到互不干扰、互相补充。

1.3 与传统可靠性试验的关系^[6]

传统软硬件独立测试为联合测试提供了可借鉴的测试方法、测试流程和测试标准。软硬件联合测试是对传统软硬件独立测试的积极改进和有力补充。软硬件联合测试中存在和所测软硬件的故障不再是独立的,测试环境也不再是独立的,由此引起的测试平台、测试方法、故障判据等都与传统可靠性试验有差别。

2 联合测试软件运行剖面模型

2.1 框架

联合测试剖面构造的核心即建立环境剖面与软件运行剖面的联系。环境剖面通常是按照不同任务阶段变化的外部环境,或按照时间顺序排列的。为了建立软件运行剖面与环境剖面的联系,可以为软件划分任务阶段。随着任务阶段的不同,各个操作出现的频率,操作顺序关系发生了变化,即为操作增加了任务阶段的属性。因此可以考虑运用子剖面的模型,将同一任务阶段的操作归于一类。

现以某型战斗机为例,将作战任务划分为爬升、巡航、作战、返航爬升、下滑等5个阶段,按照不同阶段,将各操作归类。这样就在运行剖面上建立起了五个以任务阶段划分的子剖面,新模型的示意如图1所示。

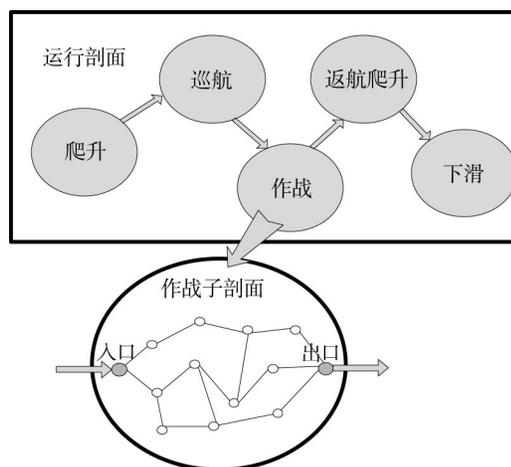


图1 两层结构立体化测试运行剖面

Fig.1 Two-tier structure of three-dimensional test running profile

2.2 模型的2个层次

这样实际建立起了两层立体化结构的测试运行剖面。在第1层各任务阶段操作组成的子剖面可以看做一个“操作包”^[7-8],各个操作包按照一定逻辑顺序构成基本的运行剖面。图1给出的是最简单的按照顺序关系转换的模型。第2层可看作各子剖面的展开,子剖面内部仍按照传统的测试方法构建,如Musa模型,马尔科夫链模型。图1给出的就是按照马尔科夫链模型建立的剖面。子剖面可以看作是半封闭的,只有入口与出口与外界联系,该入口是子剖面的初始状态,它的输入既可以来自上一个子剖面的出口输出,也可以来自初始化设定输入。联合测试中,硬件测试和软件测试是同时进行的,硬件测试与软件测试的内容也应是相匹配的。该模型就很好地模拟了这一点。

3 软硬件联合测试流程

从测试阶段来看,测试流程可以分为测试前的准备,执行测试以及测试后的分析和结论^[4]。具体内容如下所述。

3.1 试验前的准备

3.1.1 受试产品的分析、抽取

产品的技术状态应该是经过批准的。在此基础上,通过查看产品的需求说明、技术资料,并通过与开发人员交流,了解产品的主要功能、构造、基本原理等。根据可靠性试验软硬件综合测试的范围和对象,判断产品是否需要综合测试。对于纯机械类产品,不含软件控制的产品,不必进行软硬件联合

测试。

被测产品的软件应该为正式的经过系统测试确定的版本,版本应该予以记录。应检查系统测试完成情况,审查提交的文档,确保进入条件得到满足。如不满足,应将软件产品退还给开发人员进一步修改完善。通过检查的软件,应在试验前进行下面的准备:通过调研或请开发方讲解,全面而深入地了解被测软件信息、被测系统信息以及交联环境和设备信息。

通过分析的产品,原则上应按照验收试验的要求抽取受试产品^[2]。

3.1.2 统计方案的确定

1)选定统计试验方案。软硬件联合测试的受试产品,绝大多数都是偏电子类的,满足指数分布模型,可以采用指数分布描述其可靠性。软硬件联合测试推荐采用定时截尾方案和序贯截尾方案。

2)规划软件测试。确定每个测试项的测试充分性要求,根据被测软件的重要性、测试目标和约束条件,确定每个测试项应覆盖的范围及范围所要求的覆盖程度。根据测试项的特点给出不同要求,各测试组应在测试中对该条目不断总结补充。

3.1.3 确定综合环境应力剖面

应根据产品现场使用和任务环境特征确定联合测试中的环境条件及其与时间的关系,根据环境应力及其时序关系建立环境剖面。环境剖面经过简化,生成试验剖面,为实验中的环境参数选取提供依据。对设计用于执行1种任务的产品,试验剖面与任务剖面和环境剖面之间呈一一对应关系;对设计用于执行多种任务的产品,则按一定的规则将多个试验剖面合并为一个综合试验剖面,其形成过程如图2所示。

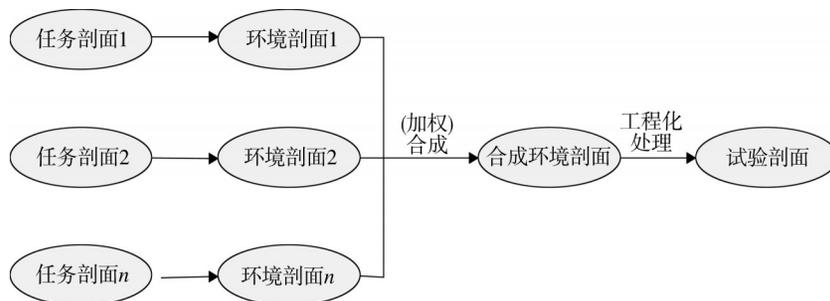


图2 综合试验剖面形成过程

Fig. 2 The formation process of comprehensive test profile

在建立了合成的综合试验剖面之后,按照前文中所介绍的“子剖面”的软件测试运行剖面构造方法,根据试验剖面,构建新型的测试运行剖面使用子剖面。每一个子剖面对应一种任务剖面、环境剖面

下的运行剖面,并相应展开。各剖面合成最后的综合运行剖面,其建立过程及其与任务剖面的关系如图3所示。

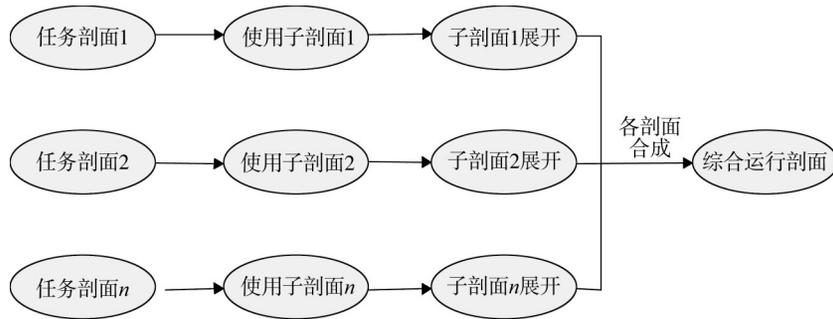


图3 综合运行剖面的建立过程

Fig.3 The establishment process of integrated operational profile

3.2 测试执行阶段

3.2.1 试验应力及测试用例施加和执行

对测试环境进行确认和校核后,按照试验剖面和软件运行剖面,将预先设计的试验应力和测试用例施加在受试产品上。应注意,试验应力和测试用例应是对应且同步的。当试验应力改变而某一测试用例尚未完成时应终止当前测试用例,切换至与试验应力相对应的测试用例。在执行过程中应注重测试用例的管理:按照测试记录表,如实填写测试的原始记录,测试记录纳入配置管理,以开发库方式管理;根据每个测试用例的期望测试结果、实际测试结果,评估准则判定测试用例是否通过;当测试用例不通过时,分析不通过的原因,确定缺陷类型,根据不同的缺陷类型采取相应措施。

3.2.2 性能监测与检测

对于硬件的检测,应按照试验剖面中设定的检测点执行,一般在试验中每一个有代表性的条件中均应设立检测点。对于软件的性能检测,应是考查每一个测试用例的输出,是否与预期输出相符,因此软件的性能检测不是定时的。

3.2.3 故障检测、处理和记录

当试验过程中出现故障时,记录下当前的测试点、软件测试执行测试用例、软件断点参数、硬件断点参数等,用于分析故障关联性和故障定位。及时填写故障报告,试验各方签字。对故障进行分析和

分类,定位故障是软件原因还是硬件原因,确定故障的关联性。故障处理应按照 GJB 899A—2009 中故障处理方法处理。

在进行故障统计时,总的关联责任故障数包括硬件和软件单独的关联责任故障数。最终数据按照指数分布试验方案验证值的评估与判决处理。

3.3 试验后的总结、信息反馈与建议

测试机构根据测试方案和大纲、测试文档、测试记录,分析和评价测试工作和被测产品。对于软件的测试总结包括以下内容。

1) 对测试工作的分析和评价,总结软件测试计划和软件测试说明的变化情况及其原因。确定在测试异常终止时,未能被测试活动充分覆盖的范围及其理由。确定无法解决的软件测试事件以及不能解决的理由。

2) 对被测软件应该进行分析和评价,总结测试中所反映的被测软件实现与软件需求(或软件设计)之间的差异。可能时,根据差异评价被测软件的设计与实现,提出改进的建议。若在测试中已获取了充分的信息,测试总结中应对软件系统的性能做出评估,指明偏差、缺陷和约束条件等对于系统运行的影响。

根据记录的试验日志及收集的故障记录,通过故障的定位,责任的认定,故障模式、故障危害性、故障原因的确定,寻求产品的改进方案。通过与承制

方的交流,反馈到产品的设计环节。

4 结语

针对可靠性试验中没有成熟的软硬件联合测试理论问题,在考查软件与硬件测试结合的基础上,提出了两层结构立体测试运行剖面,利用子剖面与环境剖面的对应关系建立软件测试与硬件测试的联系,将2种测试统一在统一时间轴上,得出了软硬件联合测试的流程,对产品的可靠性鉴定试验具有重要的意义。

参考文献:

- [1] GJB 899A—2009,可靠性鉴定和验收试验[S].
GJB 899A — 2009, Reliability Design and Acceptance Testing[S].
- [2] 赵川,徐涛,孙晓光.软硬件协同设计方法的研究[J].计算机工程与设计,2003,24(7):7—9.
ZHAO Chuan, XU Tao, SUN Xiao-guang. Research of Methodology of Hardware/Software Co-design[J].Computer Engineering and Design, 2003, 24(7): 7—9.
- [3] 丁健.基于软/硬件协同设计的嵌入式系统的性能测试[J].电子质量,2007,(5):27—30.
DING Jian. Performance Testing Based on the Embedded System of Software/Hardware Co-design [J].Electronics Quality, 2007,(5): 27—30.
- [4] 熊光泽,詹瑾瑜.嵌入式系统软/硬件协同设计技术综述[J].计算机应用,2006,26(4):757—760.
XIONG Guang-ze, ZHAN Jin-yu. Survey on Techniques of SoC Hardware/Software Co-design [J].Computer Application, 2006, 26(4): 757—760.
- [5] 刘砚菊,高有华.电磁继电器、接触器可靠性试验系统的硬件设计[J].沈阳航空工业学院学报,2001,18(2):66—67.
LIU Yan-ju, GAO You-hua. Hardware Design on Reliability Testing System for Electric-Magnetic Relays and Contactors [J].Journal of Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, 2001, 18(2): 66—67.
- [6] 杨军.装备可靠性试验分析与评价软件[D].长沙:国防科学技术大学,2008.
YANG Jun. The Design and Development of Software for Equipment Reliability Test and Evaluation [D].Changsha: National University of Defense Technology, 2008.
- [7] 艾骏,陆民燕,阮镰.面向软件可靠性测试数据生成的剖面构造技术[J].计算机工程,2006,32(22):7—9.
AI Jun, LU Min-yan, RUAN Lian. Usage Profile Construction Technique for Generation of Software Reliability Test Data[J].Computer Engineering, 2006, 32(22): 7—9.
- [8] 周海芳,陈虎,杨学军.嵌入式系统软硬件联合设计方法研究[J].计算机科学与工程,2001,(6):97—100.
ZHOU Hai-fang, CHEN Hu, YANG Xue-jun. Study of Hardware-Software Co-design Methodology Based on Embedded Systems [J].Computer Engineering & Science, 2001, (6): 97—100.
- [9] 黄维明,徐清.可靠性试验的程序和方法[J].国防技术基础,2007,(3):22—25.
HUANG Wei-ming, XU Qing. The Procedure and Method of Reliability Testing[J].Technology Foundation of National Defence, 2007,(3): 22—25.
- [13] 赵保平,孙建亮,庞勇.航天产品环境适应性问题研究[J].装备环境工程,2011,8(3):51—57.
ZHAO Bao-ping, SUN Jian-liang, PANG Yong. Research on Environmental Worthiness Problems of Aerospace Product [J].Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(3): 51—57.
- [14] 樊雪松,王晓耕.CAST2000平台下卫星环境剖面分析[J].装备环境工程,2008,5(6):28—34.
FAN Xue-song, WANG Xiao-geng. Environmental Profile Analysis of Satellite on CAST2000 Platform[J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(6): 28—34.
- [15] 赵保平,张韬.系统级产品环境试验与评估若干问题探讨[J].装备环境工程,2012,9(6):58—59.
ZHAO Bao-ping, ZHANG Tao. On Environmental Test and Evaluation of System Grade Products[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(6): 58—59.

(上接第42页)