

软件工程基于剖面映射的软硬件可靠性综合试验方法研究

封二强, 郑 军, 蓝新生

(中国航空综合技术研究所, 北京 100028)

摘 要: 为真实反映产品的实际使用情况, 准确验证软硬件综合系统的可靠性, 将软件可靠性测试以及硬件可靠性试验进行了综合, 提出一种基于剖面映射的软硬件可靠性综合试验方法. 该方法首先确定软件测试剖面以及综合环境应力剖面, 然后利用剖面映射将软件测试剖面与综合环境应力剖面结合起来, 形成软硬件可靠性综合试验剖面; 该综合试验剖面真实反映了软件运行和外部环境条件变化之间的关联, 避免了软件可靠性测试和硬件可靠性试验分别进行所带来的试验风险和资源浪费, 在减少测试代价的同时实现了一次试验即验证产品的可靠性. 实验结果表明了该方法的可行性、合理性和有效性.

关键词: 综合试验; 试验方法; 软件可靠性; 硬件可靠性; 剖面映射

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)02-0136-05

Software and Hardware Integrated Reliability Testing Based on the Profile Mapping Method

FENG Er-qiang, ZHENG Jun, LAN Xin-sheng

(China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China)

Abstract: To realistic simulate the actual usage, and accurately verify integrated hardware and software systems reliability, software and hardware integrated reliability testing based on the profile mapping method is proposed. First, the method construct the software testing profile and comprehensive environmental stress profile, then by the profile mapping method the software testing profile and the comprehensive environmental stress profile are integrated to form a comprehensive hardware and software reliability test profile; the combined test profile can realistically reflect the association between software operation and external environment changed condition, to avoid the test risks and the waste of resources. Finally, The Integrated testing method is feasible, reasonable and effective verified through a factual Display and control system experiment.

Key words: integrated reliability testing; testing method; software reliability; hardware reliability; profile mapping method

1 引言

随着信息化水平不断的提升, 各类控制系统的功能逐渐由软件实现, 并且呈现软件高度密集、复杂程度不断提高的特点, 作为系统的一部分, 软件一旦失效, 系统将处于危险状态. 因此, 软硬件综合系统的可靠性越来越受到用户重视^[1].

软硬件可靠性综合试验当前的研究主要集中在

软件可靠性单独试验、硬件可靠性单独试验, 然后将评价结果综合^[1-2], 其中主要是进行各种模型的组合和匹配^[3], 进而需要最优评价模型组合^[4-5], 但由于该类方法只是简单回避了软硬件失效机理的不同, 并未解决软硬件失效机理不同造成的影响. 针对当前软件可靠性与硬件可靠性试验所存在的缺点和不足, Bernstein 等人通过对失效过程以及引发失效的条件进行分析^[6], 指出系统失效过程通过建立适当

的失效过程模型,可以在更高层统一软硬件失效过程,进而可以解决软硬件失效机理不同导致的软硬件综合评价困难;Bennett 等人通过对系统结构进行分析^[7],指出将软硬件系统进行规则性划分,可以在微观层级统一软硬件组件,使得该层级上不再存在明显的软硬件区别,进而巧妙解决了软硬件失效机理不同导致的软硬件综合评价困难;但这些方法均需要通过软硬件可靠性综合试验测试失效数据,而针对软硬件可靠性综合试验的相关研究十分匮乏。

2 软硬件可靠性综合试验方法

在软硬件可靠性综合试验方法中,首先根据任务剖面确定软件测试剖面,并建立任务剖面 and 软件测试剖面之间的映射关系;然后根据任务剖面确定综合环境应力剖面,并建立任务剖面 and 综合环境应力剖面之间的映射关系;此时根据建立的映射关系将软件测试剖面 and 综合环境应力剖面进行综合,最终形成综合试验剖面;其中构建软件测试剖面是构建软硬件综合试验剖面的基础,建立的剖面映射关系有效保证了软件剖面与综合环境应力剖面的结合,利用该映射关系将产品软件运行和外部环境条件结合在一起,真实地反映了产品实际使用情况。基于剖面映射的软硬件可靠性综合试验过程如图 1 所示。

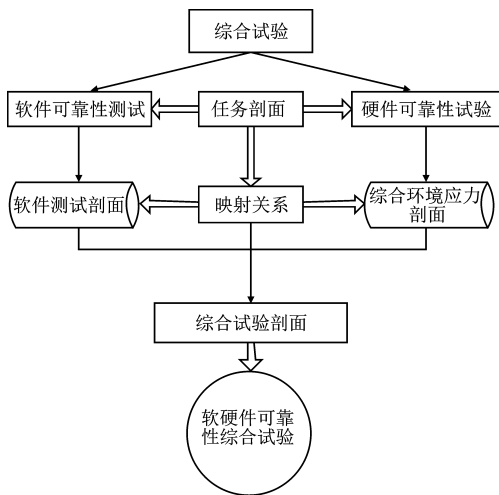


图 1 软硬件可靠性综合试验流程

2.1 软件测试剖面确定

软件测试剖面确定过程如下:首先获得任务剖面,根据任务剖面确定软件任务剖面,并建立两者之间的映射关系;然后根据软件任务剖面确定软件功能剖面,同时建立软件任务剖面 and 软件功能剖面之

间的映射关系;最后根据软件功能剖面确定软件操作剖面,并建立软件功能剖面 and 软件操作剖面之间的映射关系。软件测试剖面确定流程如图 2 所示。

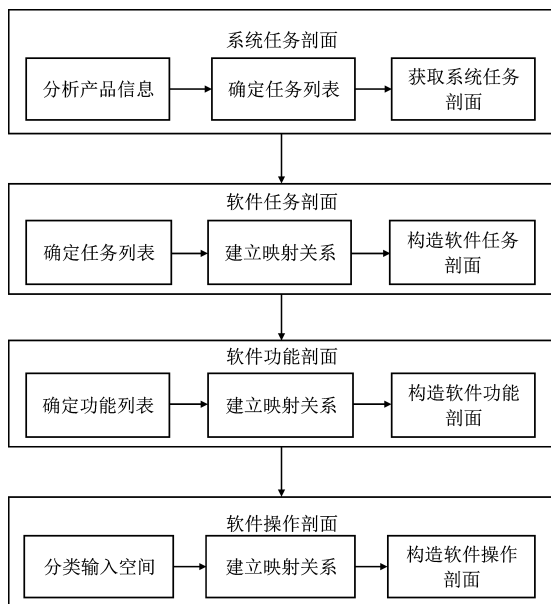


图 2 软件测试剖面确定流程

(1) 获得系统任务剖面:任务剖面描述受试产品软件所在系统需要完成的各种特定任务,包括系统任务信息、系统任务执行顺序和执行频率等信息。任务剖面定义为四元组 $Mp = \{m_i, pre_i, msg_i, p_i\}$, 其中 m_i 为第 i 个系统任务, pre_i 为系统任务执行前置条件, msg_i 为系统任务信息, p_i 为系统执行频率。获得任务剖面采用生成算法 1。

第一步:根据受试产品所需完成的任务,获取系统任务 m_i ;

第二步:根据受试产品系统规格说明等系统级文档,确定受试产品交联设备以及用户等信息 msg_i ;

第三步:根据受试产品系统规格说明等系统级文档,确定系统任务 m_i 执行前置条件 pre_i 及执行频率 p_i ,直至所有系统任务执行前置条件和执行频率均已确定,就得系统任务剖面 Mp 。

(2) 确定软件任务剖面:描述受试产品完成相关任务时,软件所需要完成的各种特定任务,包括软件任务信息、软件任务执行顺序和执行频率等信息。软件任务剖面定义为四元组 $STp = \{sm_i, spre_i, smsg_i, sp_i\}$, 其中 sm_i 为第 i 个软件任务, $spre_i$ 为软件任务执行前置条件, $smsg_i$ 为其软件任务信息, sp_i 为软件任务执行频率。系统任务与软件任务之间的映射函数定义为 $m: sm \rightarrow ft(sm)$ 。确定软件任务剖

面采用生成算法 2.

第一步:根据系统任务剖面以及软件研制任务书,确定受试产品软件任务 sm_i 以及软件任务信息 $smsg_i$;

第二步:根据系统任务与软件任务的对应关系,建立映射函数 $ft(st)$,即每一个系统任务都将由一个及以上软件任务与之相对应;

第三步:根据系统任务剖面中的系统任务执行顺序 pre 及执行频率 p ,利用系统任务和软件任务的映射函数 $ft(st)$,确定软件任务 sm_i 执行前置条件 $sfpre_i$ 和执行频率 sfp_i ,直至所有软件任务执行前置条件和执行频率均已确定,获得软件任务剖面 STp ;

(3) 构造功能剖面:描述软件任务完成所涉及一个或若干个功能(状态),包括功能信息、执行频率、功能执行顺序等信息.功能剖面定义为四元组 $SFp = \{sf_i, sfpre_i, smsg_i, sfp_i\}$,其中 sf_i 为第 i 个软件功能, $sfpre_i$ 为软件功能执行前置条件, $smsg_i$ 为软件功能信息, sfp_i 为软件功能执行频率.软件任务与软件功能之间的映射函数定义为 $sm: sf \rightarrow fs(sf)$.构造功能剖面采用生成算法 3.

第一步:根据软件需求规格说明,确定软件功能 sf_i 以及软件功能信息 $smsg_i$;

第二步:根据软件任务与软件功能的对应关系,建立软件任务与软件功能之间的映射函数 $fs(sf)$,该映射函数覆盖软件在不同任务下的各种可能功能运行场景;

第三步:根据软件任务剖面中的软件任务执行顺序 $spre$ 以及执行频率 sp ,利用软件任务和软件功能之间的映射函数 $fs(sf)$,确定软件功能执行前置条件 $sfpre_i$ 和执行频率 sfp_i ,直至所有软件功能执行前置条件和执行频率均已确定,获得软件功能剖面 SFp ;

(4) 构造操作剖面:软件功能是通过一个或多个操作的组合实现的,需要针对每个功能来刻画软件的操作剖面,包括操作信息、操作执行概率、操作执行顺序等逻辑信息.操作剖面定义为五元组 $SOp = \{so_i, sopre_i, sot_i, somsg_i, sop_i\}$,其中 so_i 为第 i 个软件操作, $sopre_i$ 为软件操作执行前置条件, $somsg_i$ 为软件操作信息, sot_i 为软件操作输入数据关于时间的分布, sop_i 为软件操作执行频率.软件功能与软件操作之间的映射函数定义为 $sf: so \rightarrow fo(so)$.构造操作剖面采用生成算法 4.

第一步:根据软件设计说明,对受试产品软件功

能 sf_i 的输入域 $\Psi_i = \bigcup InputValue_l, Range, l = 1, \dots, r$ 进行分析,得到软件操作 so_i 以及软件操作信息 $somsg_i$;

第二步:根据软件功能与软件操作的对应关系,建立软件功能与软件操作之间的映射函数 $fo(so)$;

第三步:根据输入数据 $InputValue$ 关于时间的分布情况 sot ,利用软件功能与软件操作之间的映射函数 $fo(so)$,结合软件功能执行前置条件 $sfpre_i$ 和执行频率 sfp_i 确定软件操作执行前置条件 $sopre_i$ 和执行频率 sop_i ,获得软件操作剖面 SOp .

2.2 软硬件可靠性综合试验剖面确定

软硬件可靠性综合试验剖面确定过程如下:首先根据获得的任务剖面确定硬件综合环境应力剖面,并建立两者之间的映射关系,硬件综合环境应力剖面构造方法已较为成熟,可参考 GJB 899A-2009,本文不再赘述;然后根据确定的软件测试剖面,利用软件测试剖面与任务剖面的映射关系以及综合环境应力剖面与任务剖面之间的映射关系,形成综合试验剖面.软硬件可靠性综合试验剖面确定流程如图 3 所示.

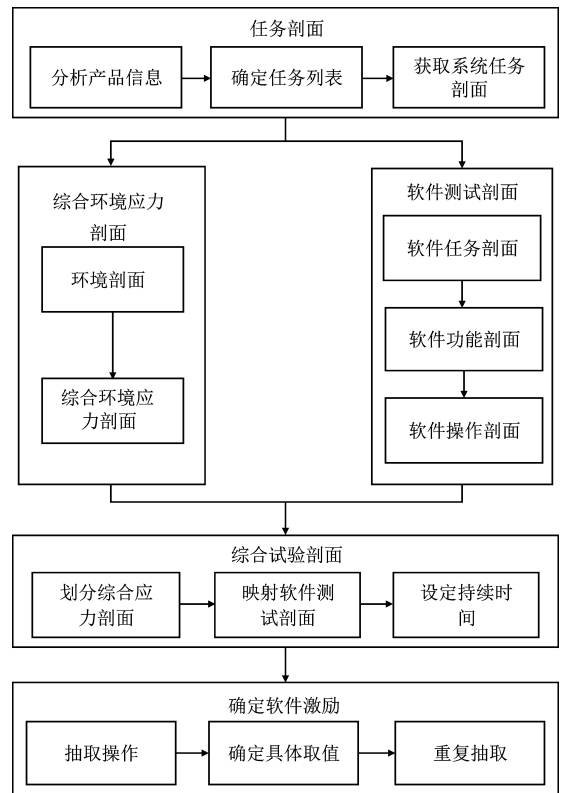


图 3 软硬件可靠性综合试验剖面确定流程

(1) 综合软硬件剖面:根据任务剖面与软件剖面之间的映射函数 $m: so \rightarrow f(so)$ 以及任务剖面 $Mp = \{m_i, pre_i, msg_i, p_i\}$ 与硬件综合环境应力剖面之

间的映射函数,将软件剖面与硬件综合环境应力剖面相匹配,得到综合软硬件试验剖面. 硬件综合环境应力剖面定义为四元组 $Hp = \{ht, hv, hh, hl\}$, 其中 ht 为试验执行时间, hv 为随执行时间变化的电应力, hh 为随执行时间变化的温度应力, hl 为随执行时间变化的振动应力; 综合软硬件试验剖面定义为六元组 $SHp = \{so_i, ht_i, hv_i, hh_i, hl_i, shp_i\}$, 其中 so_i 为第 i 个软件操作, ht_i 为第 i 个软件操作对应的执行时间, hv_i 为该执行时间内的电应力, hh_i 为该执行时间内的温度应力, hl_i 为该执行时间内的振动应力, shp_i 为其执行频率; 任务剖面与硬件综合环境应力剖面之间的映射函数 $m:hp \rightarrow fh(hp) =$

$$\begin{cases} fh_1(hv) \\ fh_2(hh) \\ fh_3(hl) \end{cases}$$
综合软硬件剖面采用生成算法 5.

第一步:根据硬件综合环境应力剖面构造过程, 确定硬件综合环境应力剖面 $Hp = \{ht, hv, hh, hl\}$ 与任务剖面中各任务阶段的对应关系 $m:hp \rightarrow fh(hp)$, 利用对应关系将硬件综合环境应力剖面进行划段;

第二步:按照时间顺序, 利用硬件综合环境应力剖面与任务剖面中各任务阶段的对应关系以及系统任务与软件剖面的映射函数, 确定软件剖面与硬件综合环境应力剖面之间的映射函数 $hp:so \rightarrow f(so)$, 确定各段综合应力剖面所对应的软件操作 so_i , 并确定各软件操作概率 shp_i ;

第三步:重复选取软件操作, 直至各段综合应力剖面对应的软件操作总持续时间 $\sum ht_i$ 与各段综合应力剖面一致.

定理 1 软件剖面与硬件综合环境应力剖面之间的映射函数为 $hp:so \rightarrow f(so) = fh^{-1}(ft(fs(fo(so))))$.

证明: $hp:so \rightarrow f(so) = hp:m:sm:sf:so \rightarrow fh^{-1}(ft(fs(fo(so))))$

(2) 确定软件激励:综合软硬件剖面之后, 即可针对各段综合应力剖面确定具体的软件激励的内容、数量以及施加顺序, 从而更加真实地模拟受试产品的使用场景. 确定软件激励采用生成算法 6.

第一步:根据各段综合应力剖面 hp_i , 利用映射函数 $f(so)$, 对应到软件测试剖面 SHp , 采取随机抽样的方式选取操作;

第二步:按照输入数据 $InputValue$ 关于时间的分布情况 sot 确定操作具体输入数据 $InputValue$;

第三步:重复抽取直至软件激励持续时间与各段综合应力剖面持续时间一致, 则停止.

3 试验验证

为验证基于剖面映射的软硬件可靠性综合试验方法的有效性和可行性, 本文针对显示控制系统进行软硬件可靠性综合试验, 为该系统构建软件测试剖面、硬件综合环境应力剖面, 并且通过剖面映射的方式将它们结合起来, 得到综合试验剖面, 如图 4 所示. 根据上节确定算法 1~算法 6, 编写显示控制软硬件可靠性综合试验辅助工具, 自动生成软件激励数据, 辅助工具分为两个模块, 体系结构示意图见图 5; 第一模块为构造测试剖面抽取测试序列, 即实现算法 1~算法 4; 第二模块为根据取值模型, 抽取操作测试数据算法, 即实现算法 5~算法 6. 本次试验选用 GJB899A 中的方案, 试验过程中, 允许受试产品发生 1 次责任故障.

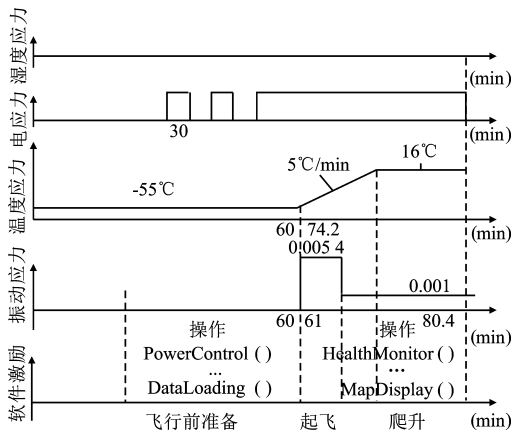


图 4 某显示系统软硬件可靠性综合试验剖面示意图

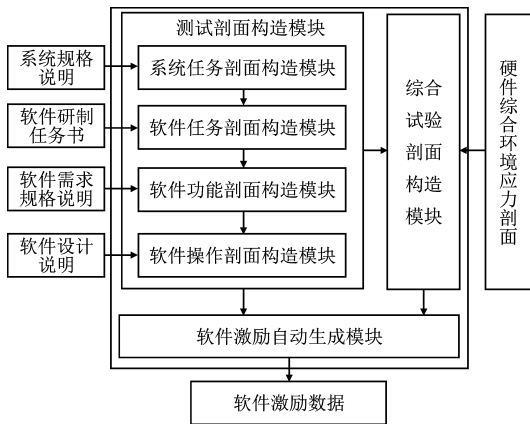


图 5 软硬件可靠性综合试验辅助工具结构示意图

利用自动生成的软件激励数据, 对该显示控制系统进行软硬件可靠性综合试验, 试验中共计运行

各类操作 14 440 次,试验中暴露的典型问题经分析可统计为以下几类:(1)部分幅角间隔无法设置相应距离圈;(2)部分数据文件卸载失败;(3)进行地图显示操作时,系统异常退出;(4)数据库异常断开连接等。

通过选取显示控制系统作为试验对象,利用提出的软硬件可靠性综合试验方法,进行软硬件可靠性综合试验,试验过程和结果表明软硬件可靠性综合试验方法考虑了软硬件综合系统的实际使用方式和工作场景,使得产品的试验方式与使用工况更加真实地反映产品实际工作状态,有效地发现影响产品可靠性的问题,保证了综合试验结果更为真实,确保了可靠性鉴定试验的质量,从而提高产品可靠性水平。

4 结束语

本文主要的贡献有:(1)针对传统硬件可靠性试验和软件可靠性测试的不足,提出一种基于剖面映射的软硬件可靠性综合试验方法,实验结果表明软硬件可靠性综合试验方法在减少测试代价的同时,实现了一次试验即验证产品的可靠性;(2)提出了软硬件可靠性综合试验剖面构造方法,该剖面构造方法能够真实反映产品的实际使用情况;(3)提供了综合试验剖面构造方法的形式化描述,该形式化描述便于研发工具原型等,从而可以逐步实现软硬件可靠性综合试验剖面构造和用例生成的自动化,实验结果表明自动化构造和用例生成是可行的。

参考文献:

[1] Jinhee Park, Hyeon-Jeong Kim, Ju-Hwan Shin, and Jongmoon Baik. An embedded software reliability

model with consideration of hardware related software failures [C]//IEEE Sixth International Conference on Software Security and Reliability. IEEE, 2012; 207-214.

[2] Choi M , Park N. Hardware-software co-reliability in field reconfigurable multi-processor-memory systems [C]// FTPDSWORKSHOP 2002. Los Angeles , 2002;1-14.

[3] Norman F. Schneidewind. Computer, network, software, and hardware engineering with applications [M]. John Wiley & Sons, 2012;315-334.

[4] Javier Cano, David Rios. Reliability forecasting in complex hardware/dofware dystems [C]//ARES 2006. Vienna, 2006; 1-5.

[5] Xiaolin Teng, Hoang Pham, Daniel R Jeske. Reliability modeling of hardware and doftwareinteractions, and its applications [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2006, 55(4): 571-578.

[6] Bing Huang, Manuel Rodriguez, Ming Li,et al. Hardware error likelihood induced by the operation of software [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2011, 60 (3): 622-640.

[7] Yudi Purwantoro, Stuart Bennett. Decomposition technique for integrated dependability rvaluation of hardware-dofware dystems using dtochastic activity networks[C]//The 25th EUROMICRO .Pisa ,1999;142-145.

作者简介:

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. E-mail:erqiangfeng@126. com.

蓝新生 男,(1988-),硕士.研究方向为软件可靠性测试、软件测试.

郑 军 男,(1969-),硕士,研究员.研究方向为软件工程.

(上接第 135 页)

[3] 姜来为,吴宣利,张乃通. 异构网络中小区间联合干扰协调算法研究[J]. 通信学报,2016,37(2):143-150.

[4] 伍杰华,朱岸青. 基于异构特征的符号社交网络关系分类[J]. 计算机应用与软件,2015,32(12):42-45.

[5] 董全,李建东,赵林靖,等. 基于效用最大的多小区异构网络调度和功率控制方法[J]. 计算机学报,2014, 37 (2):373-383.

[6] 郭洪尧,张新,贺云璐,等. 基于非合作博弈的异构融合网络非单调性选择策略研究[J]. 计算机应用研究, 2014,31(8):2450-2453.

[7] 陈万志,林澍,王丽,等. 基于用户移动轨迹的个性化健康建议推荐方法[J]. 智能系统学报,2016, 11(2):

264-271.

[8] 肖艳丽,张振宇,杨文忠. 基于 GPS 轨迹的用户移动行为挖掘算法[J]. 计算机应用与软件,2015, 32(11): 83-87.

[9] 孙小伍,马云林,袁磊. 车载主机与录像仪器相结合的新型导航产品研究[J]. 电子设计工程,2016, 24(5): 175-178.

[10] 张晓滨,杨东山,朱保华. 基于多特征相似的用户兴趣推荐[J]. 西安工程大学学报,2016,30(1):97-101.

作者简介:

张艳格 女,(1979-),硕士研究生,讲师.研究方向为网络技术应用和电子商务. E-mail:zhangyange1019@163. com.