

周 涛 编著

航天型号软件测试

AEROSPACE PROGRAM SOFTWARE TESTING



宇航出版社

航天型号软件工程系列丛书

航天型号软件测试

周 涛 编著

宇航出版社

内 容 简 介

本书是航天型号软件工程系列丛书之一,系统介绍了航天型号软件测试。全书共7章,分别介绍软件测试的基本概念、测试技术、测试阶段、测试工作流程、测试文档及测试管理,同时突出介绍了嵌入式软件测试的特点及技术,最后介绍了一个具体航天型号软件研制项目的测试工作实例,提出了航天型号软件测试工作要点。全书在介绍软件测试的一般内容基础上,结合航天型号软件研制特点介绍了相应的概念、技术及工作流程,特别介绍了独立测试。

本书的主要读者为航天型号软件研制技术人员及承担独立测试的软件评测人员,对于航天型号软件研制及软件评测管理人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

航天型号软件测试/周涛编著. -北京:宇航出版社,1999.4

(航天型号软件工程系列丛书)

ISBN 7-80144-248-2

I. 航… II. 周… III. 航天器-应用软件-测试 IV. V 4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 06161 号

宇航出版社出版发行

北京市和平里滨河路 1 号(100013)

发行部地址:北京阜成路 8 号(100830)

北京市梨园彩印厂印刷

新华书店经销

1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月第 1 次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:9.5 字数:245 千字

印数:1~3000 册

定价:18.00 元

航天型号软件工程系列丛书编委会

主 任	梁思礼			
副 主 任	张宏显	朱明让	郑松辉	
委 员	(按姓氏笔画为序)			
	王 伟	何新贵	张庆伟	张福安
	李成君	郑 非	郑人杰	郭宝柱
	郭瑞霞	常伯浚	廖泰安	
秘 书	吴建军			
编 写 组	徐祖渊	汤铭端	周 涛	
秘 书	刘忠信			
责任编辑	刘 杭			

序(一)

航天型号既是当代高新科技集中应用的领域,又是创造和推动高新科技发展的重大工程。作为时代技术标志的计算机及其软件已广泛应用于制导、导航、控制、测试、通讯、数据处理等航天关键领域。在航天型号中,计算机软件已越来越显示其重要作用,关系着系统功能的强弱和成败。重视学习和研究软件科学与管理,不断改进软件开发过程,提高软件产品质量是航天型号研制中面临的必须解决的重要课题。负责航天型号研制和管理的设计师、工程师们,特别是高层管理和技术决策者们对硬件的研制和管理比较熟悉,而对软件的研制规律和管理方法还正在学习和摸索,因此,加强系统地培训就显得格外必要。

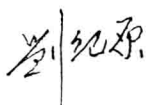
航天型号研制与管理的实践告诉我们,计算机软件像电子元器件、机械零部件一样是构成系统最基本的组成部分,必须研制好,管理好。近几年来,航天总公司在推进软件工程化工作中,下发了管理规定,成立了软件评测机构,开展了型号软件的独立评测,取得了一定成绩和进步,同时,在实践中也使人们进一步看清了差距,有不少认识问题和习惯势力阻碍着软件工程化的推进。推进软件工程化是航天事业发展的需要,也是同国际市场接轨的需要。只有加强培训,在提高的基础上统一认识,才能加快推进软件工程化的步伐。

为了适应航天型号的发展,从改进航天型号软件研制与管理现状出发,航天总公司科研局组织有关专家编写了《航天型号软件研制管理》、《航天型号软件研制过程》、《航天型号软件测试》三本书,作为培训教材,以便推动各方面的培训工作。

这三本书从软件管理、开发、测试三个角度比较全面、系统地

介绍了国际上的先进作法,也总结了我们自己的实践经验,比较实际、实用,是作者们潜心研究的成果,应当珍视。相信各方面会充分利用这三本书来帮助管理人员、软件开发人员和测试人员提高素质。

我恳切希望航天总公司广大技术人员和管理人员为迎接新世纪的到来,迎接以知识创新为特征的知识经济时代的到来,更加勤奋地学习,学习,再学习! 攀登,攀登,再攀登!

A handwritten signature in black ink, appearing to read '李纪中' (Li Jizhong). The signature is written in a cursive, stylized manner with a vertical line separating the characters.

1998 年 12 月 30 日

序(二)

当今,各种空间探测器、飞行器及运载工具,正在向新的空间区域和应用领域拓展,各种战略和战术导弹武器系统的攻击与反击能力在交替上升,系列化、智能化和精确化的发展道路已成为趋势。各种航天型号产品中更广泛地采用计算机技术,特别是航天型号软件的规模越来越大,其结构变得更为复杂,工作量随之相应增加,需要更多的技术人员共同研制航天型号软件,对其质量提出了更高的要求。

同时计算机软件已成为航天型号产品的重要组成部分,其质量状况与型号产品试验的成败密切相关,在世界范围内由于软件质量直接或间接导致飞行失利的事件接连发生,迫切要求采用一系列措施来提高航天型号软件的质量,为此必须引入和应用软件工程这一新兴的工程技术学科。软件工程的实践也说明了这确实是开辟了使计算机软件通向成功的道路。

将软件工程的一般理论和航天型号研制实践相结合,既不迁就现实,也非高不可攀的,而是经过努力能够达到,这是航天型号软件工程施工的基础。

航天型号要出产品,这是为满足各方面需求所必须的。同时还要出过程,只有好的过程才能保证不断地研制出满足需要的产品。而软件工程也正是研制航天型号软件的过程基础。

过程能否严格地实施,最关键的因素在于管理,从这个意义上说,产品的质量不仅是设计出来的,还是管理出来的。

软件测试是软件工程中的重要环节,也是提高软件质量的有效手段之一,抓好软件测试能进一步推动和促进软件工程的实施。

航天型号软件工程系列丛书不仅反映了国内外成功的经验,还总结了多年航天型号软件研制的实践,对今后的工作有重要的

价值。

希望大家都能来关注、研究、讨论和实践软件工程,并不断总结经验,完善过程、丰富内容,使航天型号软件的研制能更好满足事业的需要。

我深信,本丛书的出版必将引起航天领域内外各方面人士的重视,并将在各自的工作中发挥应有的作用。

中国科学院院士

中国航天工业总公司高级顾问、教授

A handwritten signature in black ink, appearing to read '梁景礼' (Liang Jingli), with a stylized, flowing script.

1998年12月于北京

前 言

中国航天工业总公司规定,各类航天型号的软件研制工作必须实施软件工程,这是一项重要的决定。随着我国航天事业的不断发展,计算机及软件在航天型号当中的应用越来越广泛和深入,软件质量已成为航天型号成败的主要乃至关键的因素。采用手工作坊式的软件开发方式已经不能满足航天型号软件研制的要求,代之以系统的工程的方法开发软件势在必行。软件工程是软件开发、运行、维护和引退的系统方法,软件测试则是软件工程的一个重要领域,它通过对软件进行系统的检查以证实软件的质量,是提高软件质量的重要手段。中国航天工业总公司非常重视软件测试工作,把它当成软件工程实施的重点环节及突破口,迫切要求加强软件评测体系建设、软件测试技术研究、软件测试工具开发和软件测试人员培训。

为了更好地贯彻总公司的有关决定,科研生产局组织首先编写《航天型号软件研制管理》、《航天型号软件研制过程》与《航天型号软件测试》三本书。本书旨在帮助软件开发人员和第三方软件测试人员了解航天型号软件测试工作内容、基本概念、基本原理和基本技术,并且针对航天型号软件测试特点提出了一些看法。

本书共分7章。第1章介绍软件测试的基本概念。它结合航天型号软件研制特点讨论了软件测试的目的、意义和原则,介绍了软件测试的基本原理和理论基础,给出了软件测试的分类,并且提出对当前航天型号软件测试的认识。第1章还讨论了软件错误的分类、分级及程序错误数量估计。第2章介绍软件测试的基本技术,包括静态测试技术和动态测试技术。静态测试技术中讨论了代码审查、代码走查、技术评审、静态分析等内容,动态测试中讨论等价类划分、边值分析、因果图、功能分解等黑盒测试方法及控制流

测试、数据流测试等白盒测试方法,并且介绍了域测试、符号求值等测试技术。第2章最后还介绍了动态测试工具。第3章专门介绍了嵌入式软件测试。结合航天型号中嵌入式软件应用讨论嵌入式软件测试的特点、测试技术及测试工具,较详细地介绍了全数字仿真测试技术,并给出了一个嵌入式软件测试示例。第4章讨论了软件测试的几个阶段,包括单元测试、组装测试、确认测试及系统联试,并且讨论了各阶段都可能产生的回归测试以及航天型号软件测试中行之有效的方式——第三方测试。第4章还介绍了可靠性测试的基本知识。第5章讨论软件测试工作流程及软件测试文档的作用、类型及编制。第6章讨论软件测试管理,涉及测试组织、测试质量管理、资源管理、文档管理、人员培训及数据积累。第7章介绍了一个航天型号软件研制项目的测试工作实例及工作体会,并从目前应干的事的角度给出了航天型号软件测试工作各方面的要点。

本书第4章的4.7节(可靠性测试)由周新蕾同志编写,第7章的7.1、7.2、7.3节由叶东升同志编写。

在编写过程中,编委会全体同志对编著者给予许多指导,详细而认真地审阅了本书的提纲、征求意见稿及送审稿,提出了许多极其宝贵的意见和建议,促成了本书的诞生。特别是何新贵研究员及王伟研究员对本书的征求意见稿逐字逐句进行了修改,令编著者十分感激。此外,还得到了科研生产局领导及有关机关同志的大力支持,得到了编著者所在204所领导及有关机关同志们的大力支持和帮助。编著者还在与有关人员的讨论中得到不少的收获和帮助,编写组的徐祖渊研究员和汤铭端博士在总体结构和具体内容方面对本书的形成给予了很多建设性意见和建议。几年来,本书的一些基本想法在总装备部和航天总公司有关机关和研究所作过多次介绍和讨论,从中编著者也得益匪浅。书中还应用了王伟研究员、徐祖渊研究员、汤铭端研究员、叶东升高级工程师、周新蕾高级工程师、邓本江高级工程师、王雅云高级工程师、石柱高级工程师、

吴雁来高级工程师等的研究成果。张江南同志绘制了本书的全部图表,并做了大量文字编辑和校对工作。书稿形成过程及出版工作中,宇航出版社也给予了极大帮助。在此谨向上述所有单位及个人以及一切帮助过编著者的人们表示衷心的感谢。

软件测试技术在不断发展,航天型号软件测试实践也在不断广泛深入地开展,由于编著者水平有限,本书中难免存在疏漏和错误,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 基本概念	(1)
1.1 什么是软件测试	(2)
1.1.1 软件测试的认识的发展	(2)
1.1.2 广义的软件测试	(7)
1.2 软件测试的意义	(8)
1.3 软件测试原则	(11)
1.3.1 Myers 的基本原则	(11)
1.3.2 软件测试的独立性原则	(15)
1.3.3 软件测试完成准则	(16)
1.3.4 软件的测试性	(18)
1.4 软件测试的基本原理和理论基础	(19)
1.5 软件测试的分类	(21)
1.6 软件错误	(24)
1.6.1 几个概念——错误、缺陷、故障、失效	(24)
1.6.2 研究软件错误的目的	(25)
1.6.3 软件错误分类和分级	(26)
1.6.4 程序错误数量估计	(29)
1.7 当前航天型号软件测试的认识	(30)
1.7.1 航天型号软件测试特点	(31)
1.7.2 目前的状况	(33)
1.7.3 航天型号软件测试的定位	(34)
1.7.4 几个基本认识问题	(36)
第 2 章 软件测试技术	(40)
2.1 静态测试技术	(40)
2.1.1 静态测试技术特点	(40)
2.1.2 代码审查	(43)
2.1.3 代码走查	(47)

2.1.4	静态分析	(47)
2.1.5	静态分析工具	(59)
2.2	动态测试技术	(63)
2.2.1	动态测试技术特点	(63)
2.2.2	黑盒测试和白盒测试	(64)
2.2.3	黑盒测试	(67)
2.2.4	白盒测试	(79)
2.3	其它测试技术介绍	(94)
2.3.1	程序变异	(94)
2.3.2	域测试	(96)
2.3.3	符号求值	(100)
2.3.4	程序插装	(101)
2.3.5	统计测试	(103)
2.3.6	程序正确性证明和形式化方法	(103)
2.3.7	测试用例设计综合策略	(105)
2.4	动态测试工具	(106)
2.4.1	动态分析工具	(106)
2.4.2	程序插装器(Program Instrumenter)	(107)
2.4.3	测试数据生成器(Test Data Generator)	(108)
2.4.4	符号计值(Symbolic Evaluator)	(109)
2.4.5	变异测试(Mutation Testing)工具	(110)
2.4.6	测试辅助支持工具	(110)
2.5	通用软件测试工具介绍	(111)
2.5.1	计算机辅助软件测试器(CAST)	(112)
2.5.2	Purify 和 PureCoverage	(113)
2.5.3	C 语言测试工具 C-Tester	(114)
第3章	嵌入式软件测试	(115)
3.1	嵌入式软件特点	(115)
3.2	嵌入式软件测试特点及基本对策	(116)
3.3	全数字仿真技术	(121)
3.3.1	全数字仿真技术内容	(122)
3.3.2	全数字仿真技术的目的和意义	(123)

3.3.3 全数字仿真技术应用缺点与局限性	(126)
3.4 嵌入式软件测试环境	(128)
3.5 嵌入式软件测试工具及使用	(131)
3.5.1 工具的功能特性	(132)
3.5.2 工具的使用	(134)
3.6 例子	(136)
3.6.1 软件应用和设计背景	(136)
3.6.2 支撑硬件和软件	(137)
3.6.3 单元测试	(138)
3.6.4 组装测试	(139)
3.6.5 系统测试	(140)
第4章 软件测试的步骤	(142)
4.1 多层过滤软件测试方法	(144)
4.2 单元测试	(144)
4.2.1 单元测试的特点和意义	(145)
4.2.2 单元测试的内容	(145)
4.2.3 单元测试方法和步骤	(149)
4.3 组装测试	(153)
4.3.1 组装测试的意义和特点	(153)
4.3.2 组装测试的内容	(154)
4.3.3 组装测试策略	(159)
4.3.4 组装测试的技术手段	(171)
4.4 确认测试	(173)
4.4.1 确认测试的任务和特点	(173)
4.4.2 确认测试的内容	(175)
4.4.3 确认测试的技术方法	(183)
4.5 系统联试	(198)
4.5.1 系统联试的特点和意义	(198)
4.5.2 系统联试的内容	(200)
4.5.3 系统联试技术手段	(203)
4.6 回归测试	(203)
4.6.1 回归测试的特点和意义	(203)

4.6.2	回归测试的内容	(204)
4.6.3	回归测试的技术手段	(204)
4.6.4	回归测试的工作步骤	(212)
4.7	可靠性测试	(213)
4.7.1	软件可靠性测试的定义与目的	(213)
4.7.2	软件可靠性测试的特点	(213)
4.7.3	软件可靠性测试的效果	(215)
4.7.4	软件可靠性测试的基本条件	(216)
4.7.5	软件可靠性测试步骤	(217)
4.8	独立测试	(220)
4.8.1	独立测试的概念和意义	(220)
4.8.2	独立测试的工作内容	(222)
4.8.3	独立测试的组织	(223)
4.8.4	建设航天型号软件评测体系	(224)
第5章	软件测试流程及软件测试文档	(226)
5.1	软件测试流程	(226)
5.1.1	制定测试计划	(227)
5.1.2	编制测试说明	(229)
5.1.3	执行测试计划	(231)
5.1.4	评价测试效果和被测试的软件	(234)
5.2	软件测试文档	(236)
5.2.1	测试文档的作用	(236)
5.3.2	测试文档的类型	(238)
5.3.3	测试文档的编制	(238)
5.3.4	测试计划	(239)
5.3.5	测试说明	(243)
5.3.6	测试报告	(246)
5.3.7	静态测试文档	(249)
第6章	软件测试管理	(250)
6.1	测试组织	(250)
6.1.1	单元测试的组织	(250)
6.1.2	组装测试的组织	(251)

6.1.3	确认测试的组织	(252)
6.1.4	落实责任,加强管理	(254)
6.2	测试质量管理	(255)
6.3	测试进度和资源管理	(258)
6.4	测试文档管理	(261)
6.5	测试工作数据积累	(262)
第7章	航天型号软件测试实例及要点	(264)
7.1	被测软件背景	(264)
7.2	测试情况	(265)
7.2.1	静态分析	(265)
7.2.2	代码审查	(266)
7.2.3	单元测试	(268)
7.2.4	确认测试	(269)
7.2.5	系统联试	(271)
7.3	测试体会	(272)
7.4	航天型号软件测试要点	(273)
7.4.1	指导思想	(273)
7.4.2	技术手段	(276)
7.4.3	工作模式	(278)
7.4.4	管理保证	(280)
参考文献		(282)

第 1 章 基本概念

随着现代航天技术的不断发展以及计算机科学技术自身的飞速发展,计算机及软件在航天系统中起着越来越重要的作用,担负起更多的重要任务。软件质量成为航天系统质量的重要构成因素。

(1) 软件在航天系统中的重要作用

在航天系统中计算机应用越来越广泛深入,从系统层到其组成部件都可能嵌入各种不同的计算机应用成份,这些成份往往承担着系统指挥、过程控制、数据采集和处理、数据通信以及系统安全保障等各种功能,其中软件成为系统的神经中枢,由它产生各种信息使系统其它部件执行相应的动作。

在这样的系统中,无论硬件、软件还是操作人员发生故障,都可以引起系统失效,其中有些可能造成严重损失,要保证系统质量就必须保证这三方面都达到相应的质量水平,软件质量不能不考虑。

(2) 软件故障可能产生严重后果

过去系统设计和指挥人员考虑质量问题主要考虑硬件质量和人的因素,那时系统中没有使用嵌入的计算机软件。现在系统中嵌入了计算机软件,如果不考虑软件质量因素,认为软件 100%可靠,是不现实的。软件故障在复杂的指挥、控制等程序中,在一定的输入和运行环境下就会显露出来而造成系统失效。例如阿波罗飞船的一次飞行失败,水手一号探测器 1962 年的一次飞行失败,前苏联载人飞船 1988 年有一次不能顺利返回地面,美军某作战系统把飞机航迹标错,敌我颠倒,海湾战争期间美军爱国者导弹有一次未成功地拦截飞毛腿导弹,及至 1996 年阿丽亚娜火箭的发射失败