

无人机飞控软件测试方法研究

王 泉, 张学宏, 周敏刚, 黄 晖

(中国航空计算技术研究所, 陕西 西安 710068)



摘要:飞控软件是无人机飞行控制系统的控制神经中枢, 对无人机飞控软件进行有效的测试是保证飞控系统质量的重要手段。根据某型无人机飞控软件及其开发特点, 提出一种与软件开发过程同步的、基于多个测试环境的软件测试模型, 重点阐述该模型涉及的单元和配置项测试方法。测试结果表明, 提出的测试模型, 测试工作能有效地发现无人机飞控软件在不同开发阶段引入的不同类型的软件缺陷, 有效地保障了无人机飞控软件的安全性、可靠性和质量。

关键词:无人机; 飞控软件; 软件测试

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1671-654X(2008)02-0078-04

引言

随着信息化军事技术的不断深入, 无人机依靠其体积小、重量轻、安全性好、成本低廉等特点获得了迅速发展。飞行控制系统软件作为无人机的核心软件, 其性能和可靠性对无人机系统至关重要。使用先进的软件测试技术对飞控软件进行充分的测试能够有效降低软件错误出现概率、提高软件可靠性和安全性, 对保证无人机的质量有着至关重要的作用。

1 无人机飞控软件特点

某型无人机飞控软件, 结合飞控任务机硬件, 完成高空多用途武器平台的飞行控制系统的所有功能, 是典型的实时嵌入式应用软件, 包括通讯管理、参数装订、地面测试、空中复位、控制律解算、飞行控制、回收控制等功能。该飞控软件及其开发与测试具有以下特点:

1) 接口复杂: 有多种接口与各外部传感器或部件进行交互(如 ARINC429 总线接口、422 总线接口、D/A 转换接口、A/D 转换接口)。

2) 实时性强: 软件主任务周期严格限制在 10ms, 每周期内必须完成输入信息的采集、与各种外设的通讯、控制律计算及各种既定任务(实战发控、地面测试、安控回收等)的数据处理。

3) 安全性、可靠性要求高: 无人机的所有内外回路及对各种机载设备的控制均靠软件协同完成, 一旦软件出现问题, 则可能造成灾难性后果。

4) 开发与测试验证过程同步进行、测试环境多样:

该飞控系统软件与系统是同步开发、同步测试、同步试验, 控制模型经过反复迭代, 软件更改非常频繁。为保证研制进度的需要, 需要在软件开发的不同阶段、不同层次上进行软件同步、独立测试, 对软件的文档、代码进行检查与测试。由此需要建立多种不同的测试环境, 对软件单元、配置项的功能、性能、接口、安全性等软件属性进行充分测试。

2 无人机飞控软件测试模型

针对上述某型无人机飞控软件及其开发、测试的特点, 需要对在软件的文档审查、代码审查、单元测试、配置项测试等各个层面上的测试工作进行规划, 制订合理的测试策略、选择适用的测试方法、搭建合适的软件测试环境, 尽可能及时消除飞控软件的缺陷。

本文提出了一种集软件文档审查、代码静态分析和审查、单元级结构和功能测试、配置项级功能、性能、接口、安全性等测试在内的综合测试模型, 如图 1 所示。

该测试模型具有以下两个特点:

1) 覆盖面广。在单元级和配置项级两个级别上进行测试, 采用不同的测试策略和测试技术对软件的文档、源代码和运行程序等各个方面进行测试, 在不同层次上消除软件的缺陷。单元级测试采用黑盒与白盒相结合的测试技术, 使用文档审查、静态分析、代码审查、逻辑测试、功能测试等测试类型, 确保软件需求和设计文档的正确性、代码的规范性、设计或实现的正确性, 从单元级检查软件的功能、性能、接口和其它约束条件的满足程度; 配置项级测试采用黑盒测试技术, 在无人

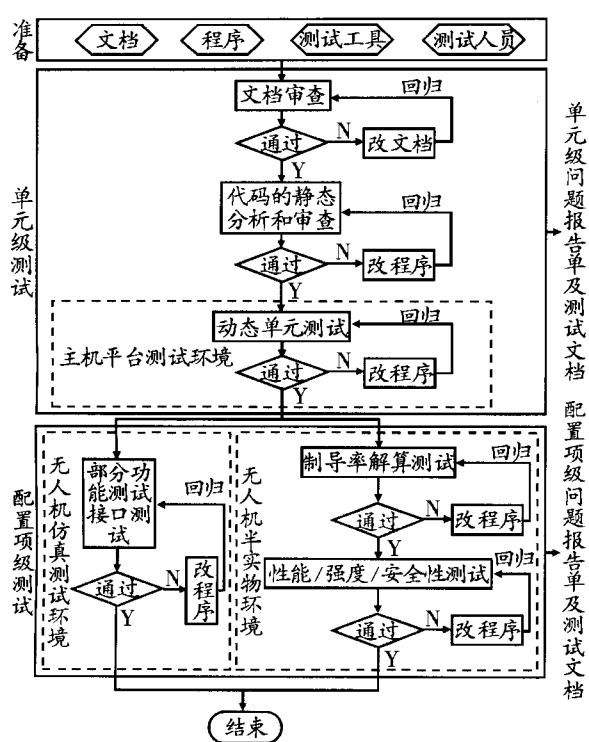


图1 基于多测试环境的测试模型图

机仿真测试环境和半实物环境中,验证飞控软件是否满足无人机系统对软件的功能、性能、接口、安全性等显性需求和隐性需求。

2) 测试环境多样。在宿主机平台上使用软件分析与测试工具构建适用于单元级测试的代码分析、结构测试和功能测试环境,对软件的全部单元模块进行测试;基于飞控目标机构建适用于配置项级测试的无人机仿真测试环境和无人机半实物环境,测试软件的接口通讯、制导律计算、安全性、性能和强度等软件功能、性能指标。

3 无人机飞控软件测试技术

3.1 静态测试

静态测试对象是无人机飞控软件的文档和程序代码,主要采取文档审查、代码审查、代码静态分析技术。分别利用文档检查单和代码检查单,检查文档和代码的正确性和规范性;利用软件质量度量分析工具定量化分析软件代码的质量特征,获取软件单元的规模度量、圈复杂度度量和语句注释率度量信息,验证软件是否满足文献[1]的要求;旨在软件开发的早期阶段能有效消除文档和代码错误或二者的不一致问题。

3.2 单元级动态测试

静态测试虽可有效发现一些软件的文档缺陷、设计缺陷和代码缺陷,但仍存在许多软件结构和功能方面的缺陷无法通过静态测试技术得以发现,因此需要

动态单元测试技术进一步消除软件结构和功能缺陷。

某型无人机飞控软件动态单元测试采用黑盒测试和白盒测试^[2]相结合的方法,测试每个单元内部逻辑结构满足结构覆盖要求和软件单元功能满足需求的情况。

某型无人机飞控软件动态单元测试主要依据软件的设计文档,采取基于需求的测试方法,利用等价类划分和边界值分析技术,设计完全覆盖软件设计需求的单元测试用例,借助商用软件测试工具对软件的每个单元进行测试,根据测试用例执行结果是否满足预期及软件结构覆盖率情况,发现软件缺陷,如设计遗漏、功能未实现、多余代码(死码)等。

3.3 配置项级测试

某型无人机飞控软件的基本工作过程是:在发射前进行初始信息装订;发射后软件进入正常飞行状态;软件通过任务机系统的外部接口自动采集各种外部设备数据,结合装订数据和控制指令实时进行制导控制律解算,控制无人机的飞行姿态。软件的整个工作过程没有人工干预的途径,若软件发生故障,不仅可能危及无人机的飞行安全,而且无法准确定位故障。

为进一步验证软件的功能、性能、安全性和可靠性指标是否满足软件需求,需要在配置项级别上对该软件进行充分的测试。因此,某型无人机飞控软件测试建立了两类配置项测试环境,一类是仿真测试环境,另一类是半实物环境,以适应从不同的角度测试所有软件特性的需要。

3.3.1 仿真环境下的测试

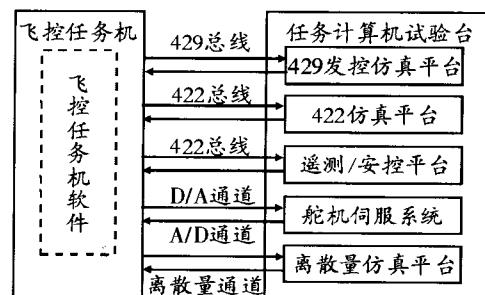


图2 无人机仿真测试环境

某型无人机飞控软件配置项测试使用的仿真测试环境如图2所示,通过422仿真平台模拟惯导、高度表、舵机、发动机等外设与飞控任务机之间的数据通讯,通过429发控仿真平台模拟发控系统与飞控任务机之间的数据通讯,通过遥测/安控平台监视无人机飞控任务机软件的运行状态,通过舵机伺服系统测试飞控任务机与舵机间的A/D、D/A接口数据转换、通讯的正确性,通过离散量仿真平台测试飞控任务机离散

量接口的数据通信。

仿真测试环境下的无人机飞控软件配置项测试,除了进行软件正常的功能测试,还重点对软件的安全性、可靠性进行测试,防止因软件的容错机制、边界和异常数据处理的不完善造成系统崩溃。仿真测试环境下的无人机飞控软件配置项测试采用故障注入方法,即使用人工的方法有意识模拟飞行中可能出现的故障并施加于飞控软件上,验证飞控软件对故障数据的处理、抵御误操作的能力是否满足软件需求。

无人机飞控软件配置项测试主要采用3类故障注入技术(即硬件故障、操作故障、数据故障),对软件的主要功能模块进行测试:

1)上电自检:注入Flash、NVRAM故障,测试无人机飞控软件软件初始加电时是否能检测出内部硬件故障并进行相应报警提示;

2)射前自检:注入惯导、高度表、发动机等外部设备故障,测试射前自检时软件能否检测和定位相应故障;

3)外部接口测试:结合无人机飞控软件与外部设备(发控系统、惯导系统、气压高度表等)的通讯协议,注入各种故障通讯数据,例如超出协议规定范围的高度数据、不满足需求或协议规定的工作电压等,测试飞控软件对错误数据的容错程度和处理结果;

4)射前准备测试:通过发控仿真平台注入错误的装订数据、惯导对准信息数据,测试飞控软件对错误数据的识别和处理;

5)空中复位:注入无人机飞行中的突然掉电故障,测试飞控软件能否保存掉电前的有效数据,并在恢复加电后重新加载这些数据,保持掉电前的有效飞行状态;

6)回收控制:注入非协议规定的异常安控指令,验证飞控软件的相应处理。

3.3.2 半实物环境下的测试

半实物环境下的无人机飞控软件配置项测试,使用真实的外部设备构成闭环环境,测试飞控软件的制导律解算功能、恢复性、实时性能和时间强度性能等软件特性。

1)制导率解算功能测试:为无人机飞控软件装订好航路初始数据,控制无人机进入发射后状态,通过实时输出遥测系统接收到的飞行数据,并使用专业软件绘出无人机的飞行轨迹,观察分析制导律的解算是否满足软件需求;

2)恢复性测试:使用故障注入方法,对闭环飞控过程进行测试,例如更改飞控软件程序代码,注释掉喂狗程序代码,测试无人机飞行时看门狗是否能产生报警

等;

3)性能测试:测试软件在单位周期内能否完成信息采集、数据通讯、控制律计算及其它任务的数据处理,并留有国军标规定的时间余量;

4)时间强度测试:测试无人机能否在需求规定的最大飞行时间范围内正常飞行。

4 测试性能分析

使用本文提出的测试模型,在软件研制的同时进行某型无人机飞控软件单元和配置项测试,对该型无人机成功地进行首次飞行试验具有非常重要的意义。整个测试过程发现的软件缺陷中,各种测试方法发现的软件缺陷所占的比例见图3。

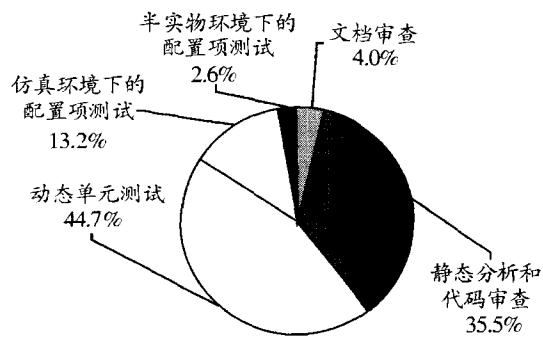


图3 软件缺陷发现率分布图

由图3可看出,软件测试发现的问题大部分集中在单元级测试阶段,单元级测试的问题发现率为84.2%(含文档审查、静态分析和代码审查、动态单元测试),远远高出配置项级测试。这一结果表明,在软件开发的早期阶段,就进行严格、规范的软件独立测试,具有非常好的测试效果,可以摒除需求和设计文档描述缺陷以及代码中的许多低级错误,可以有效地提高程序代码的正确性和规范性、可以发现程序在数据处理和设计上的隐藏缺陷。

配置项测试在单元测试的基础上进行,在整体上考核飞控软件功能、性能、安全性和可靠性等软件特性。由于某型无人机飞控软件开展了卓有成效的单元级测试,配置项测试阶段发现的软件缺陷已大大减少,仅占总缺陷数的15.8%。这个结果一方面证明开展单元级测试的必要性,同时也说明仅进行单元测试是不够的,需要在更高层次上开展软件测试。某型无人机飞控软件配置项测试通过在仿真环境下注入边界数据、异常数据或操作故障,有效地发现了飞控软件对边界、异常数据、接口通讯的处理缺陷;在半实物闭环测试环境下对软件的制导率计算功能、时间性能、安全性、强度等方面进行了进一步测试,也成功地发现了部

分软件功能、性能方面的缺陷。

5 结束语

使用本文提出的测试模型,在软件开发的不同阶段、在软件的不同层次上严格、规范、有序、成功地开展了某型无人机飞控软件测试工作,特别是通过测试及时摒除了 422 总线数据丢失的问题,有力地保障了该型无人机的首飞成功,是笔者在机载军用软件开发过程中同步进行独立软件测试的一次成功尝试。

测试结果表明,军用软件研制尽可能及早地同步开展独立测试是非常必要的,是有效保证军用软件质量的重要手段,国内军用机载嵌入式软件研制应形成

制度,广泛推行在软件研制阶段进行第三方独立测试。

参考文献:

- [1] GJB Z 102 - 97 军用可靠性和安全性设计准则 [S]:12 - 13.
- [2] 飞思科技产品研发中心. 实用软件测试方法与应用 [M]. 北京:电子工业出版社,2003:17 - 19.
- [3] 马飒飒. 无人机飞控软件测试技术研究 [J]. 无线电工程, 2004(10).
- [4] 蒋支运,陈欣,王德欣,等. 基于软件的无人机故障注入技术研究 [J]. 飞机设计,2006(1).

Research on Test Methods of UAV Flight Control Software

WANG Quan, ZHANG Xue- hong, ZHOU Min- gang, HUANG Hui

(Aeronautical Computing Technique Research Institute, Xi'an 710068, China)

Abstract: Flight control software is the control center of flight control system of Unmanned Aircraft vehicle(UAV). An important approach to guarantee the flight control system quality of UAV is to test flight control software efficiently. In this paper, a new test model based on multiple test environments is proposed, which includes unit and configuration item testing techniques based on the characteristics of the flight control software of UAV and its development process. The test results demonstrate that the test work based on the proposed model can effectively find kinds of bugs of flight control software introduced in its different development phases, and highly ensure the security, reliability and quality of the flight control software.

Key words: unmanned aircraft vehicle; flight control software; software test

(上接第 77 页)

An Aircraft Stands Assignment Automated System Based on Expert System

ZHANG Jian- long¹, CHANG Gang²

(1. School of Management Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;
2. Computer Center, China West Airport Group, Xi'an 710075, China)

Abstract: Aircraft Stands Assignment in civil airport is very important to airport operation scheduling. To provide the airport operation with advanced theory and method supports, this paper proposes the design for an aircraft stands assignment automated system according to the Expert System theory, looks into the mechanism of the Knowledge Base and the Inference Engine.

Key words: aircraft stands assignment; expert system; knowledge base; inference engine