

基于 LDRA Testbed 的飞机中央维护系统覆盖测试

邹会荣

(中国航空计算技术研究所, 陕西 西安 710068)



摘要:基于测试工具 LDRA Testbed 实现了飞机中央维护系统的覆盖测试工作。以飞机中央维护系统的主界面源程序为例,通过测试过程说明了工具在飞机中央维护系统测试中的成功应用,并达到了一定的语句覆盖分析和分支覆盖测试率。给出了软件的测试流程和测试结果。测试结果表明,使用 LDRA Testbed 工具,可以大大提高飞机中央维护系统的软件测试效率,同时也能够满足航空业界的软件标准 DO-178B,并获得了规定的语句覆盖和分支覆盖测试率。

关键词:飞机中央维护系统; LDRA Testbed; 语句覆盖分析; 分支覆盖测试

中图分类号: TP311.5

文献标识码: A

文章编号: 1671-654X(2010)05-0091-04

引言

随着航空工业的迅速发展,我国民用飞机的发展已趋于大型化、模块化。飞机各分系统的机载软件功能越来越齐全,各模块软件之间的关联关系也越来越复杂。因而,机载软件的质量优劣直接影响着人机安全,一旦软件出现问题,往往会造成灾难性的后果。

飞机中央维护系统是机载软件中的一部分,为了确保它的高质量和高可靠性,在研发和测试过程中必须遵循航空软件标准 DO-178B,并且要利用专业化的测试软件对系统软件经过严格的逐级测试,才能应用于恶劣的现实中。

飞机中央维护系统的软件测试分为基于需求的黑盒测试和基于源码的白盒测试。本文讲述了基于源码的白盒测试方法,着重阐述了利用测试工具 LDRA Testbed 对飞机中央维护系统软件进行语句和分支覆盖的测试方法及流程,并给出了测试报告。

1 飞机中央维护系统软件覆盖测试

1.1 飞机中央维护系统

飞机中央维护系统(Plane Central Maintenance System, CMS)可使飞机驾驶员实时快速的获取飞机状态和各项参数,对可能出现的各类故障进行预报、监测、隔离,提供故障检测报告、构型报告和地面测试指令并且判断故障根源,据此地面人员可以快速制定出维修计划,给出相应的修理方法,减少事故的发生。该系统已经逐步应用于部分型号的民用飞机上,如中国商用飞机公司的 ARJ-21,它采用的是美国霍尼韦尔

柯林斯公司的基于故障方程的诊断技术来进行故障处理和地面测试,并向维修人员提供文字信息显示。

CMS 系统帮助飞行员和地勤人员侦测并寻找飞机关键部件的故障,跟踪飞机系统的 LRUs 工作是否正常并且识别 LRUs 是否需要替换,该系统将通过飞机座舱中的多功能显示器把 LRUs 的故障诊断信息、发动机维护信息、飞机系统参数信息显示出来并在飞行途中将这些结果下传至地面站,使维修人员提前做好维修准备。同时, CMS 系统提供了一个综合用户接口,便于对所有连接的子系统进行地面测试。按照各家飞机制造商对子系统的要求,飞机上的每个子系统都能提供故障检测和报告。报告系统采用整个飞机系统都适用的标准协议与 CMS 进行通信,提供故障报告、系统参数报告和地面测试指令。报告结果存储在机载海量存储器中,通过机载通信寻址与报告系统或无线局域网等技术下传至地面,以备使用。

1.2 DO-178B 标准

国际航空无线电委员会(RTCA)针对航空电子系统的开发制定了 DO-178B (Software Consideration in Airborne Systems and Equipment Certification) 标准。在欧洲和美国,如果一架飞机没有通过 DO-178B 质量认证就不允许在其领空飞行。在中国, DO-178B 标准已经作为航空领域必须的资格认证。

DO-178B 规定了航空软件的五个测试级别,它们分别如下:

Level A 级:能够 100% 的完成修正条件/判定覆盖 (MCDC) 测试,确保程序每个出口和入口点都至少被

调用 1 次;每个判定的可能输出都必须被至少执行 1 次;判定中的每个条件独立地影响判定结果。

Level B 级:能够 100% 地完成判定覆盖 (Decision) 测试,确保每个判定的可能输出都必须被至少执行 1 次;程序中每个出口和入口都至少被调用 1 次。

Level C 级:能够 100% 地完成语句覆盖 (Statement) 测试,确保程序中的所有语句都被执行 1 次。

Level D 级和 Level E 级属较轻的失效状态和无影响状态,通常软件测试时可以弱化。

1.3 覆盖测试方法

覆盖测试又称白盒测试,它是基于程序源码和需求说明来实现的。它以程序的内部结构为基础来设计测试用例。其基本准则是用测试用例来尽可能多地覆盖程序的内部逻辑结构,发现其中的错误和问题。本文用到的两种覆盖测试方法如下:

1) 语句覆盖测试:又称 SCA 测试 (Statement Coverage Analyse)。它是指设计足够多的测试用例,运行测试程序,使程序中的每条语句都至少执行 1 次。遵照 DO - 178B 标准,该测试的完成是实现 Level C 级测试的评判标准。

2) 判定覆盖测试又称分支覆盖测试,它是指设计足够多的测试用例,运行测试程序,使得程序中每个判定都获得 1 次“真”值和“假”值,或者说使程序中的每一个分支都至少遍历 1 次。由 DO - 178B 知,该测试的完成是实现 Level B 级测试的评判标准。

1.4 测试工具 LDRA Testbed

测试工具 LDRA Testbed 是由英国著名的 Liverpool Data Research Associates Ltd 公司开发研制的。它为航空,航天等应用软件的确认和验证提供了强大的源代码测试和分析功能,是独特的质量控制工具。通过使用该工具,能够保证飞机中央维护系统的软件测试满足苛刻的航空 DO - 178B 标准,有助于提高航空软件必需的可靠性,健壮性和尽可能的满足零缺陷,带来时间、成本和效率上真实的节省。

测试工具 LDRA Testbed 具有静态分析与动态分析功能,适用于软件测试各个阶段。静态分析是指分析代码,提供代码结构的理解;动态分析就是利用源码的插桩版本,使用测试用例执行,在运行时发现软件缺陷。使用自动插桩技术,在测试过程中就能完成代码覆盖的度量。当发现源码错误时,LDRA Testbed 通过文本和图形的报告会精确地显示出代码的执行区域。这些特点使用户集中关注和错误相关联的源代码部分,因此节省了修改错误和再测试的时间。

2 飞机中央维护系统覆盖测试的实现过程

飞机中央维护系统覆盖测试的实现是遵循 DO - 178B 标准,基于测试工具 LDRA Testbed,在美国 Rockwell Collins 公司的 Vista 测试平台下,实现了系统软件语句覆盖测试 (对应于 DO - 178B Level C 级) 和分支覆盖测试 (对应于 DO - 178B Level B 级)。本文以飞机中央维护系统中的 menu_page.c 源程序为例,详细说明了软件的语句覆盖和分支覆盖实现过程。

2.1 测试流程

2.1.1 测试前的准备工作

1) 根据软件需求说明书和软件设计书,在 VC6.0 环境下,编写和编译正常运行的源程序代码。

2) 设计足够多的测试用例,利用 Python2.5 环境,编写和编译运行正常的测试程序。

2.1.2 测试的详细流程

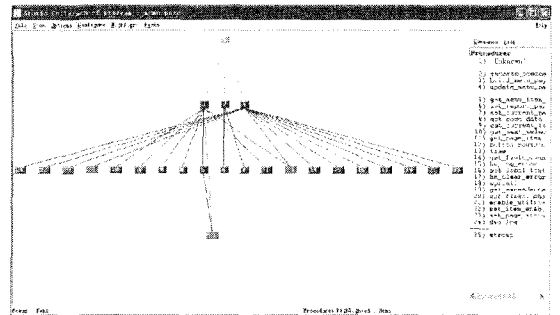


图 1 被测源码与子函数之间的调用关系图

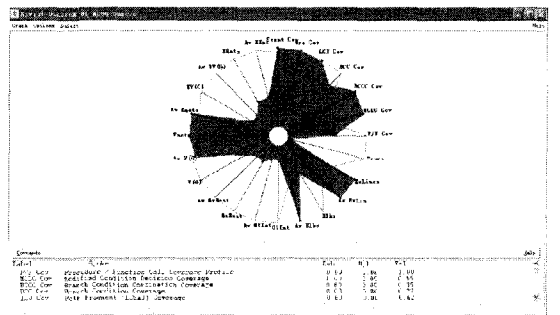


图 2 被测源码的 Stand Kiviat 图

1) 利用测试工具 LDRA Testbed 中的 Select Analysis 窗口下的 Main Static Analysis 选项对 menu_page.c 进行静态分析。通过该项分析,为测试人员提供软件各函数之间的调用关系,并提供评估现有测试过程质量的 Kiviat 图,使软件得到好的维护和改造。图 1 是 menu_page.c 和子函数之间的调用关系图,图 2 是对 menu_page.c 所做的 Stand Kiviat 图,该图以扇形结构表示,每个轴表示一类度量元,每个轴上不同的点表示获得值,同时以不同颜色表示获得值和限制值之间的

关系。

2)利用测试工具 LDRA Testbed 中的 Select Analysis 窗口下的 Generate Instrumented Program 选项对 menu_page. c 进行自动插桩,生成对应的插桩文件。

3)用插桩文件替换相应路径下的被测源文件。启动 VC6.0 环境,对插桩后的文件进行编译,生成新的可执行文件 DM. exe。

4)将生成的新的可执行文件 DM. exe 拷到 VISTA 8.1.6 测试平台指定的路径下,启动 VISTA 8.1.6 测试平台,调用编译后的含足够多测试用例的测试程序组,分别生成历史记录文件 menu_page. exh。

5)启动 LDRA Testbed,调用 menu_page. exh 文件,利用 Select Analysis 窗口下的 Dynamic Coverage Analysis 选项对 menu_page. c 进行动态分析测试。分析前必需在 Dynamic Coverage Report Configuration 页面上选择覆盖测试类型,如 Level C 或 Level B 测试。

2.2 覆盖率分析

经过分次运行多个测试程序,LDRA Testbed 逐次累计,由覆盖率的计算公式(覆盖率 = (执行对象的数目/执行对象的总数目) × 100%)计算出不同测试用例下的软件执行的语句覆盖率和分支覆盖率。以 menu_page. c 源程序下的一个子函数 update_menu_page()来说明 LDRA 是如何完成覆盖率的累加。

对第一个测试程序所对应的历史记录文件 menu_page. exh 分析完后,分析报告显示子函数 update_menu_page()仅有 54% 的语句覆盖率和 35% 的分支覆盖率,一些特殊条件的语句并未走到,如图 3 所示,方框中内容表示这些语句未走到,需添加满足特殊条件的测试用例。

针对特殊条件(fault_count > 999)和(fault_count < 0),添加测试程序,经过再次动态分析获得 81% 的语句覆盖率和 73% 的分支覆盖率,如图 4 所示,方框中内容表示当前运行的测试程序已经覆盖了的语句。

针对(start_time + 180 < time(NULL))条件,添加测试程序,经 LDRA 的分析获得 93% 的语句覆盖率和 85% 的分支覆盖率,如图 5 所示,方框中内容表示当前运行的测试程序已经覆盖了的语句。

但是对于包含 4 个子函数的 menu_page. c 源程序而言,有一些子函数的语句在测试用例的作用下始终未能执行到语句覆盖,经过仔细研究发现该部分的代码在运行时永远不会满足被执行条件,应视为死码。正是死码的存在,促使了 menu_page. c 源程序的语句覆盖率和分支覆盖率没有完全达到 100%。

为了达到 100% 的语句和分支覆盖,只有继续精简源代码,修改测试用例,才能实现 Level C 和 Level B

级的测试目标。

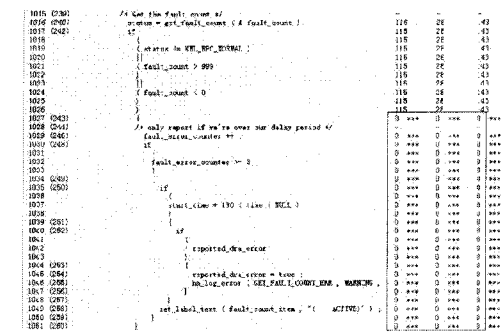


图 3 初次分析状况

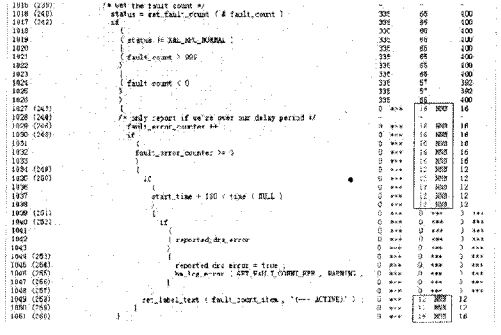


图 4 第二次分析状况

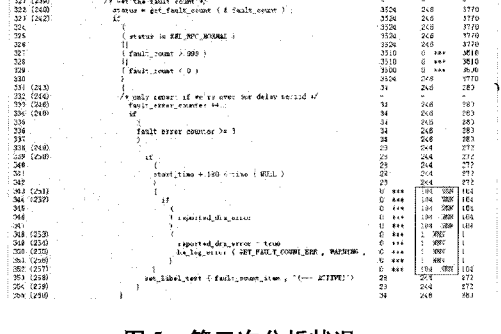


图 5 第三次分析状况

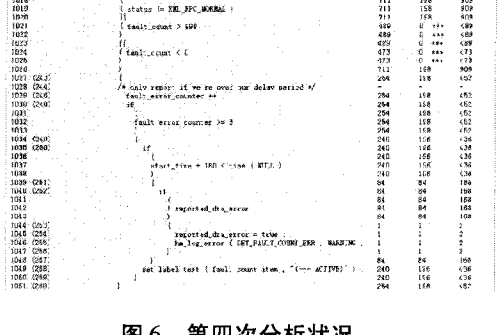


图 6 第四次分析状况

2.3 生成测试报告

测试分析结束后,LDRA Testbed 会以图、表或文本形式给出直观的语句覆盖和分支覆盖的状况,测试人员可以根据需要,选择生成html格式或txt格式的

LDRA Testbed @ Dynamic Coverage Analysis Report

File : D:\ARJ21 CMS SW Verification\cms_20090507\cms_20090507\adma\adma\src\dm\page\menu_page.c

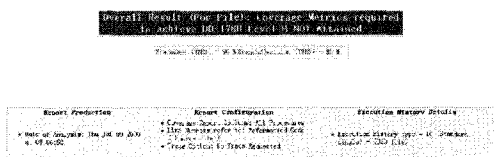


图 7 动态覆盖分析报告

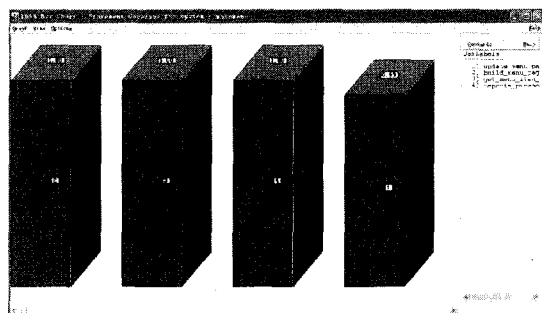


图 8 动态覆盖分析柱图

动态覆盖分析报告和图形状的动态覆盖分析图。这些报告将促使测试人员控制软件测试的进度,以及在测试用例实施情况下,判断软件执行的对错。图 7 是 LDRA Testbed 生成的 html 格式动态覆盖分析报告。

图 8 是 LDRA Testbed 生成的动态覆盖分析柱图。

3 结论

通过多次应用 LDRA Testbed 测试工具进行了飞机中央维护系统软件测试,形成了静态分析报告和动态覆盖测试报告,全面分析和衡量了源代码和测试程序的质量,实现了源代码的语句覆盖和分支覆盖分析的工作任务,达到了一定的语句和分支覆盖率。

自动测试工具 LDRA Testbed 给软件测试人员带来了很大方便,为软件设计和软件测试的评估带来很大帮助,给软件维护提供了强有力的依据。

参考文献:

- [1] 李中萍,岳海,薛静. LDRA TESTBED 在航天软件测试中的应用[J]. 航天控制,2007,25(2):73-77.
- [2] 侯智荣,陈欣. 无人机飞行控制系统软件白盒测试用例设计研究[J]. 计算机测量与控制,2006,14(4):431-434.
- [3] Ron Patton. 软件测试[M]. 北京:机械工业出版社,2006:79-80.
- [4] 刁东生,孟克. 基于 XML-RPC 技术的飞机中央维护系统[J]. 信息与电子工程,2006,4(6):444-446.

Realization of Coverage Testing for Aeroplane Central Maintenance System Based on LDRA Testbed

ZOU Hui-rong

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

Abstract: Based on the testing tool LDRA Testbed, this paper realizes the coverage testing work of Plane Central Maintenance System. By means of the menu source of Plane Central Maintenance System as the sample, the paper shows that the testing tool can be successfully used in Plane Central Maintenance System through the testing process, and reaches the stated testing rate of Statement Coverage Analysis and Branch Coverage Analysis. At the end of the paper, there is the testing process and result of system software. According to the testing result, to use the LDRA Testbed tool can greatly improve the software testing efficiency of Plane Central Maintenance System. At the same time, it can meet the aerial software standard - DO - 178B, and gain the stated testing rate of Statement Coverage Analysis and Branch Coverage Analysis.

Key words: plane central maintenance system; LDRA testbed; statement coverage analysis; branch coverage analysis