

文章编号: 1674-8190(XXXX)XX-001-09

民用飞机 CNS 系统一体化测试用例与程序开发方法

张辉, 姚宇甲

(成都天奥信息科技有限公司, 成都 610097)

摘要: 机载无线电通信导航监视 CNS 系统是民用飞机航空电子系统的重要组成部分。测试程序是 CNS 系统验证过程中的重要技术文件,也是测试验证工作开展的依据和基础。如何缩短测试程序的开发时间和测试时间,节约测试验证活动的时间资源,是 CNS 系统验证过程要考虑的关键问题之一。对影响测试程序开发时间和测试时间的多种要素展开分析,以增强不同 CNS 功能测试程序相似性为目标;通过深入挖掘 CNS 功能相似性特征,提出 CNS 系统一体化测试用例与程序开发方法;以实际工程数据为支撑,完成一体化开发方法与常规开发方法的对比分析。结果表明:一体化开发方法能够有效缩短测试程序的开发时间和测试时间,提高验证效率,对其他航电系统测试验证有一定的借鉴意义。

关键词: 民用飞机;航空电子;CNS 系统;一体化特征;测试用例;测试程序

中图分类号: V24

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.XXXX.XX.01

Integrated test cases and procedures development method for civil aircraft CNS system

ZHANG Hui, YAO Yujia

(Chengdu Tianao Information Technology Co., Ltd., Chengdu 610097, China)

Abstract: The airborne radio communication, navigation and surveillance (CNS) system is an important component of the civil aircraft avionics system. Test procedure is an important technical document in the CNS system verification process, and it is also the basis and foundation for conducting testing and verification work. How to reduce the time of creating and testing the test procedures, and save valuable time resources for testing and verification activities is one of the key issues to consider in the CNS system verification process. Various factors that can affect the time of creating and testing the test procedures are analyzed to enhance the similarity of test procedures for different CNS functions. Through in-depth analysis of CNS functional integrated features, an integrated test case and procedure development method for CNS systems is proposed. Based on actual engineering data, the integrated development method and conventional development method are compared and analyzed. The results show that the integrated development method can effectively reduce the time of creating and testing the test procedures, thus improve verification efficiency, which has reference significance for the testing and verification of other avionics systems.

Key words: civil aircraft; avionics system; CNS system; integrated features; test cases; test procedures

收稿日期: 2024-03-26; 修回日期: 2024-11-30

通信作者: 张辉(1985-), 男, 硕士, 工程师。E-mail: jackzhangh@126.com

引用格式: 张辉, 姚宇甲. 民用飞机 CNS 系统一体化测试用例与程序开发方法[J]. 航空工程进展, XXXX, XX(XX): 1-9.

ZHANG Hui, YAO Yujia. Integrated test cases and procedures development method for civil aircraft CNS system[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, XXXX, XX(XX): 1-9. (in Chinese)

0 引言

机载 CNS 系统作为航空电子系统(本文简称航电系统)的重要分系统之一,为飞机提供空地话音和数据通信、无线电导航和着陆指引、气象和地形信息感知、交通监视信息和避让建议^[1],是引导飞机按指定航路安全可靠飞行的重要支撑系统。随着航空技术的高速发展,复杂电子硬件和软件的广泛应用,CNS 系统逐步向高度复杂和综合的方向发展,系统需求数量大,功能/设备间的交联关系日益复杂,同时适航性要求、安全性要求越来越高。测试程序作为验证 CNS 系统需求的重要手段,其数量、编写难度和复杂度越来越大,测试时间也越来越长。如何缩短测试程序的开发时间和测试时间,提高验证效率是 CNS 系统验证过程值得研究的问题之一。

ARP4754A^[2]和 ARP4761^[3]是民用飞机和系统开发、适航取证和安全性评估的两份核心指南,于 2023 年 12 月迎来了改版。改版后的 ARP4754B^[4]和 ARP4761A^[5]吸收了近年来的工业应用经验和行业意见,相互匹配度更高,对系统验证、安全性需求验证相关内容也做了补充、调整和优化。其中,ARP4754B 针对不同功能研制保证等级 FDAL 等级的需求,不再强制规定使用何种验证方法,但为了确保需求被充分地验证,测试仍然是首选的验证方法,可见测试程序的重要性和必要性。

自动化测试方法能节约时间、成本,以及减小纯手动测试可能出错的概率,是复杂系统验证的发展趋势,受到越来越多国外学者的关注^[6]。Dyachenko 等^[7]提出了一种基于图像和音响信息的自动化测试方法,用于航电系统驾驶舱人机接口的验证。该方法通过专业摄像机和麦克风采集驾驶舱的图像和声音信息,送至计算机软件的识别算法处理,通过和期望结果对比后产生测试结果,能有效降低驾驶舱人机接口需求验证的时间和成本。SAGIRKAYA 等^[8]定义了一种自动化航空电子集成测试环境的设计方法,通过提高自动测试能力,能更好地支持航电系统的试验室集成验证工作,达到节约时间和测试成本的目的。

近年来,国内研究者针对民用飞机机载电子系统验证过程也展开了深入研究。雷国志等^[9]从 CNS 系统需求出发,以验证方法、验证级别、验证环境和验证追溯过程为主线,研究了 CNS 系统的

验证方法和实施过程,可用于民用飞机其他航电系统的验证;赵长啸等^[10]从适航审定要求角度出发,针对 IMA 系统的验证过程,给出了不同层级(包括模块/平台验证、应用验证、综合模块化航空电子 IMA 系统级验证和飞机级验证)应关注的典型验证活动;张军才等^[11-13]针对复杂航电系统的验证能力建设,围绕验证体系、验证条件和验证技术展开研究,分别提出了验证体系、验证条件和验证技术的建设思路。以上研究从适航要求出发,结合工程实践,从更高层次梳理了系统验证过程的方法、活动和框架体系,有助于全局上理解和掌控 CNS 系统的验证实施过程。但针对验证过程的细节活动,如怎样缩短测试程序的开发时间和测试时间,并没有展开分析。

CNS 系统功能及设备具有许多相似特征,在架构设计时经常作为一个整体进行综合设计。这种一体化架构设计思想有利于 CNS 系统控制、数据、状态信息的统一规划,以及音频数据的统一处理、传输和控制^[14]。且随着 CNS 系统架构从分离式过渡到联合式、集中式、再到分布式^[15]的演变,CNS 系统相似性特征依然存在。

利用 CNS 系统一体化思想进行 CNS 系统架构设计有诸多优点,本文将这种思想与验证过程相结合,提出一种能缩短测试验证时间的开发方法,即 CNS 系统一体化测试用例与程序开发方法(简称一体化开发方法),并分析其实施过程。

1 CNS 系统及其验证过程

1.1 CNS 系统构成与一体化特征

CNS 系统功能主要包括:

- 1) 甚高频话音通信(VHF)、高频话音通信(HF)、卫星话音通信(SATCOM)、数据链通信、选择呼叫等通信功能;

- 2) 无线电高度表(RA)、自动定向(ADF)、指点信标(MB)、甚高频全向信标(VOR)、测距器(DME)、仪表着陆系统(ILS)、卫星着陆系统(GLS)、卫星导航系统(GPS)等无线电导航功能;

- 3) 地形感知与告警系统(TAWS)、气象雷达(WXR)、空中防撞(TCAS)/应答机(XPDR)等监视功能。

由于有着相似的技术体制架构和相通的业务模型,CNS 系统呈现出许多相似性特征即一体化

特征,主要包括:

- 1) 大部分要进行调谐控制;
- 2) 大部分要进行音频控制;
- 3) 均有天线,支持射频信号的收发;
- 4) 均对外输出功能数据,如距离、方位、偏差、台站识别音、语音、监视告警等;
- 5) 均具备功能和设备的健康状态监测与数据加载能力,以支持系统维护性工作;
- 6) 均有冗余设计机制,如设计多种调谐控制方式、同频段不同天线间的复用、设计多条功能数据输出总线、配备多套同类型设备等,以满足系统安全性需求;
- 7) 均有独立性设计机制,如任何一侧 CNS 功能设备故障不会影响另一侧 CNS 功能设备的正常工作,同一设备多个相同处理通道中任意一个故障不会影响另一通道的正常工作等,以满足系统安全性需求中的共模要求;
- 8) 具备系统重构能力,如当正常调谐信号中断时,可切换到降级调谐模式,维持功能的正常工作等。

随着 CNS 设备综合化程度的不断提高,同一个设备集成了越来越多的功能。比如空客 A380 航电系统采用无线电管理面板(RMP)实现对 CNS 系统的调谐控制和音频控制,柯林斯宇航的甚高频导航接收机集中了 VOR、ILS、ADF 和 MB 等功能,进一步增强了不同 CNS 功能的相似性。

1.2 CNS 系统验证过程

对于 CNS 这类复杂系统,其研制过程 and 安全性评估过程应按照 ARP4754B 中的“双 V”模型展开,以表明对 25.1309 条款的符合性。验证过程位于 V 模型的右侧,其目的主要在于确认预期功能被正确地实施、需求已经被满足和安全性分析的结论仍然有效。

CNS 系统验证工作是一项复杂的系统工程,其验证过程的基本框图如图 1 所示,涉及到计划、需求、系统及设备研制、测试用例开发、测试程序开发、验证平台建设、验证结果生成等多方面的活动,且活动与活动之间相互依赖、相互耦合。将围绕测试程序的开发时间和测试时间,对其影响因素展开分析。

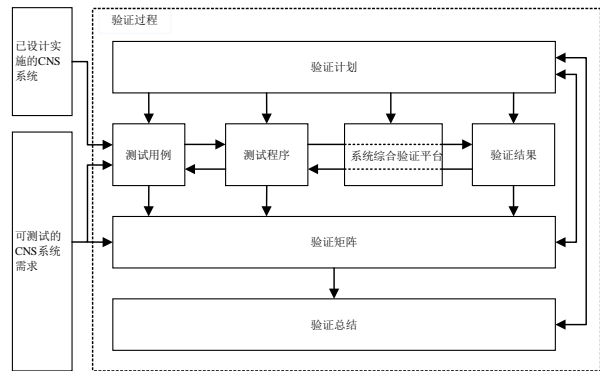


图 1 CNS 系统验证过程
Fig. 1 CNS system verification process

1.3 测试程序开发时间的影响要素

测试程序开发时间的影响要素如图 2 所示,从系统设计和系统验证的角度出发,结合实际工程经验,对可能影响测试程序开发时间的要素做了梳理。

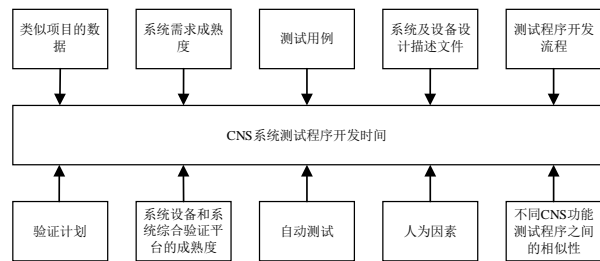


图 2 测试程序开发时间的影响要素
Fig. 2 Factors impacting the time of creating test procedures

为了缩短 CNS 系统测试程序开发时间,围绕(但不限于)10 要素展开分析,主要包括:

- 1) 类似项目的数据:通过借鉴其它类似 CNS 项目的测试程序数据,并以此为基础,通过调整和适应性修改,形成适合于当前项目的测试程序,以缩短测试程序开发时间;
- 2) 系统需求成熟度:在编写测试程序前,确保已完成 CNS 系统需求的确认,并已建立相应的需求基线,避免因需求频繁变更导致的测试程序非必要迭代,以缩短测试程序开发时间;
- 3) 测试用例:通过开发合理的 CNS 系统测试用例,将离散的、数量庞大的系统需求分解为规模更小、更易于验证的需求工作包,降低测试程序的开发难度和复杂度,以缩短测试程序开发时间;
- 4) 系统及设备设计文件:系统及设备设计文件能支持开发人员更充分地理解 CNS 功能特性、系统架构、数据流向等,便于更准确理解系统需

求,减少测试步骤编写过程中的迭代次数,以缩短测试程序开发时间;

5) 测试程序开发流程:测试程序开发流程详细描述了测试程序的开发框架、编写技巧、开发模板、用到的工具和检查单等,能为测试程序编写提供操作指南,以缩短测试程序开发时间;

6) 验证计划:通过规划关键验证活动的时间节点、测试程序开发顺序、开发人员与责任的合理分配,以缩短测试程序开发时间;

7) 系统设备和系统综合验证平台的成熟度:通过提供实际系统设备和系统测试平台,便于早期验证需求是否具备可测试性,同时支持开发人员理解系统需求、编写操作步骤,减少测试步骤在编写过程中的迭代次数,以缩短测试程序开发时间;

8) 自动测试^[13]:通过智能手段快速生成大量的、可在系统综合验证平台执行的自动测试脚本,弥补手动创建测试步骤耗时长的缺点,以缩短测试程序开发时间;

9) 人为因素:通过指派对 CNS 系统更熟悉、经验更丰富的开发人员负责测试程序开发任务,以缩短测试程序开发时间;

10) 不同 CNS 功能测试程序的相似性:通过增强不同 CNS 功能测试程序的相似性,相似性越高,可借鉴性越强,意味着一旦某功能测试程序编写完成,仅需做适应性替换,即可生成其它功能测试程序,以缩短测试程序开发时间。

1.4 测试程序测试时间的影响要素

类似地,可对影响 CNS 系统测试程序执行时间的要素展开分析,主要包括(但不限于)6个方面:

1) 测试程序可读性:通过编写有条理、无歧义的测试步骤,并按需添加注释,便于测试人员理解测试步骤的操作意图,以缩短测试程序测试时间;

2) 工具:通过引入自动化或半自动化测试工具辅助测试,快速实现测试步骤切换、测试结果记录和问题回溯,以缩短测试程序测试时间;

3) 自动测试:通过运行自动化测试脚本,弥补手动执行测试步骤耗时长的缺点,以缩短测试程序测试时间^[16];

4) 人为因素:通过指派对 CNS 系统更熟悉、

经验更丰富的测试人员负责测试任务,以缩短测试程序测试时间;

5) 测试程序的颗粒度:通过开发测试用例,合理分配测试程序待测需求的规模和数量,控制测试步骤复杂度,特别当测试过程中出现故障时,可缩短测试程序返工测试时间;

6) 不同 CNS 功能测试程序的相似性:通过增强不同 CNS 功能测试程序的相似性,相似性越高,测试人员对测试程序内容的熟悉越快、操作越熟练,以缩短测试程序测试时间。

将针对 1.3 节要素 10 和 1.4 节要素 5、要素 6,分析如何通过一体化开发方法增强不同 CNS 功能测试程序的相似性和控制测试程序的颗粒度,达到缩短测试程序开发时间和测试时间的目的。

2 CNS 系统测试用例与程序开发

2.1 测试用例与程序开发过程

测试用例与程序开发的基本过程如图 3 所示,首先基于需求分类方法将所有待测需求分为 N 个需求工作包,再逐一针对每个需求工作包,分析其涵盖需求所描述的功能特性,形成需求测试框架,最后基于测试框架编写测试程序测试步骤,完成对需求工作包内需求的验证,并通过系统测试平台执行生成测试结果。测试用例由待验证的需求工作包及其测试框架构成。当需求不复杂或数量较少时,测试框架可能不是必需的。

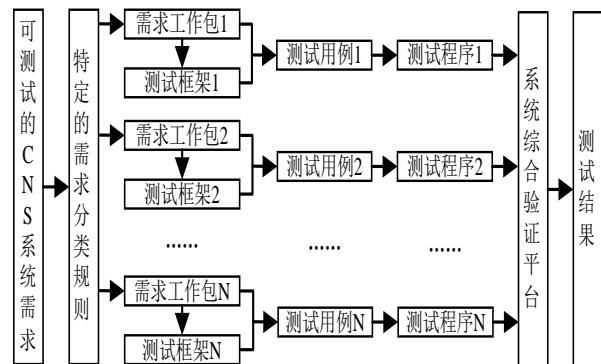


图 3 测试用例与程序开发过程

Fig. 3 Test cases and procedures development process

需求分类规则决定了需求工作包的内容和属性,进而影响测试框架制定和测试程序编写,是测试用例与程序开发的核心。需求分类规则因实际工程具体情况而定,可能按功能分、按需求章节分

或按设备分等。

常规与一体化测试用例与程序开发方法对比如图 4 所示。

1) 常规测试用例与程序开发方法(简称常规开发方法):采用常规需求分类规则,仅将需求分为两大类,即 CNS 功能数据加载类和非数据加载类,形成两种类别的需求工作包,再生成对应的测

试用例与程序;

2) 一体化开发方法:采用一体化需求分类规则,将需求按照 CNS 功能相似性特征分类,再通过

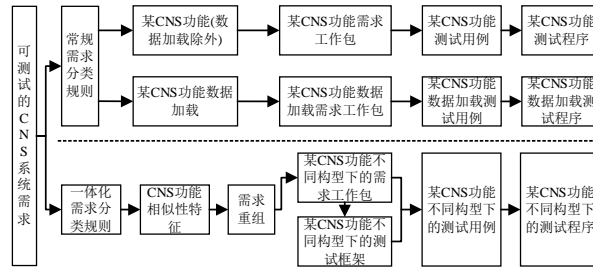


图 4 测试用例与程序开发方法(常规 vs 一体化)

Fig. 4 Test cases and procedures development method (conventional vs integrated)

常规开发方法对需求的分类规则较为简单,且不定义需求的测试框架,将重点分析一体化开发方法的实施过程。

2.2 CNS 系统一体化测试用例开发

2.2.1 CNS 系统需求的分类和重组

1.1 节分析表明,CNS 系统功能相似性特征主要体现在调谐控制、音频控制、射频、功能数据输出、维护(可分为故障上报和数据加载)、独立性和重构上。冗余设计本质上是围绕调谐控制、音频控制、射频、功能数据输出和维护等方面做备份设计,在需求分类时可不单独考虑。其余七个相似性特征几乎能完整地描述 CNS 功能输入输出特性,绝大部分系统需求可映射到这七个维度。对

于无法映射的部分需求,可增加一个其它类别。

针对任一 CNS 功能系统需求,可从 9 个方面对其进行分析,判断该需求属于调谐控制、音频控制、射频、功能数据、故障上报、数据加载、独立性、重构和其他中的哪一类。CNS 系统需求的分类和重组如图 5 所示,分类完成后,每个 CNS 功能系统需求被拆分成了 9 个类别的子需求工作包,再对这 9 类子需求做串联和重组,确定不同构型下的功能测试用例及其覆盖的需求。图 5 以 ILS 功能为例,其它 CNS 功能类似,重组后的 ILS 功能测试用例分为 5 类即 5 种构型,每种构型包含对应的需求,如 ILS 故障上报需求和 ILS 重构需求构成了 ILS 功能故障注入和重构测试用例所覆盖的需求。

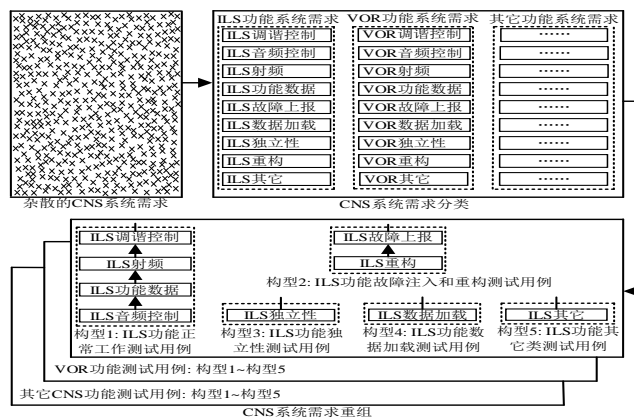


图 5 CNS 系统需求的分类和重组

Fig. 5 Classify and reorganize of CNS system requirements

2.2.2 CNS 功能测试用例的测试框架

CNS 系统需求分类和重组确定了不同类别测试用例覆盖的需求,为了确保有序地对测试用例需求展开验证,还需进一步规划需求的测试框架。假设某 CNS 系统配备了 2 个正常调谐设备、2 个降级调谐设备和 2 个音频管理设备,分别实现对 CNS 系统的正常调谐、降级调谐和音频控制。

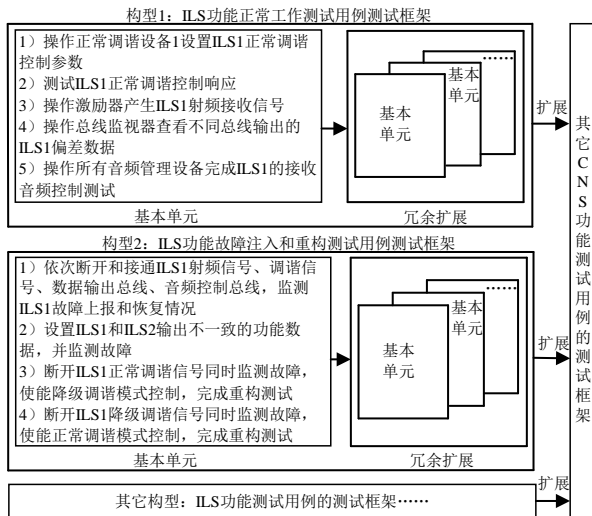


图6 CNS 功能测试用例的测试框架示例

Fig. 6 Examples of test case outlines for CNS functions

ILS 功能构型 1 和构型 2 测试框架的示例如图 6 所示,确定测试框架的基本思路为构建测试框架基本单元以及基于该基本单元做冗余扩展。针对构型 1,首先围绕 ILS 功能线程正常工作的输入条件和输出特性,构建测试框架基本单元。输入包括调谐输入和射频输入,输出包括偏差数据输出和音频输出。再改变外部输入条件,多次重复基本单元的测试内容并结合需求内容做适应性修改(简称冗余扩展),完成测试框架的构建。外部输入条件的变化可能包括多种场景,如改由正常调谐设备 2 或降级调谐设备设置 ILS1 调谐参数、将 ILS1 替换为 ILS2 等。

ILS 功能其它构型测试框架构建与构型 1 类似,区别在于需建立和不同构型相匹配的测试框架基本单元。比如针对构型 2,则需识别 ILS1 功能的所有故障模式和重构方式,并通过冗余扩展方式补充 ILS2 的内容。实际工程中考虑到 CNS 系统需求的数量和复杂度,测试框架基本单元所涵盖内容可能远比图 6 复杂。

当不同构型下 ILS 功能测试用例的测试框架

确定后,通过对基本单元的内容做复制和适应性替换,可形成对应构型下其它 CNS 功能的测试框架基本单元。比如针对 VOR 功能构型 1,仅需将 ILS 构型 1 的调谐参数替换为 VOR 频率、射频输入替换为 VOR 射频信号、功能数据输出替换为 VOR 方位、音频控制替换为对 VOR 音频的控制等,再通过冗余扩展即可生成 VOR 功能构型 1 的测试框架。若针对 VHF 话音通信功能,在确定基本单元时,还需补充发射音频控制的内容。

2.3 CNS 系统一体化测试程序开发

一体化测试用例开发方法增强了不同 CNS 功能测试用例在类别、覆盖需求和测试框架上的相似性。测试用例是测试程序开发的主要输入,输入的相似性进一步增强了不同功能测试程序之间的相似性。通过建立相同的测试程序开发模板和测试程序检查单,最终可将不同 CNS 功能之间的相似性落实到测试步骤上。测试程序开发模板和测试程序检查单可参见 ARP4754B^[4]附录 E 示例。

当某 CNS 功能某构型测试程序编写完成后,将其作为该构型下的参考基准,通过复制和适应性替换,形成对应构型下其他功能的测试程序,可进一步增强相同构型下不同 CNS 功能测试程序的相似性。在时间节点要求不紧迫的情况下,指派同一个开发人员负责更多功能测试程序编写,也可增强测试程序相似性。

尽管 CNS 功能有很多相似之处,但不同之处也很显著,如工作频段差异、功能特性差异等。为了便于统一测试,可采取必要的支撑手段,如建立 CNS 一体化的测试平台、配备不同功能所需激励器、建立仿真模型、使用真实天线测试等。

3 CNS 系统测试用例与程序开发方法的应用

3.1 测试程序开发时间

以民用飞机某 CNS 系统研制项目(简称项目一)为背景,该项目采用一体化开发方法,对左侧导航功能不同构型下测试程序对应的待测需求数量、测试步骤数量和开发时间做了采集,如表 1 所示。开发顺序为先完成 ILS1 功能不同构型测试程序的编写,再以该测试程序为参考基准,通过复制

和适应性替代,完成其它导航功能对应构型测试程序的编写。

表 1 导航功能测试程序开发时间(项目一)

Table 1 Time of creating NAV test procedures (project 1)

功能	构型 1	构型 2	构型 3
	需求/条 步骤 时间/h	需求/条 步骤 时间/h	需求/条 步骤 时间/h
ILS1	54 176 22	16 111 17	7 56 11
VOR1	59 165 14	18 119 14	6 53 8
ADF1	77 235 18.5	20 131 15	6 65 9
MB1	56 198 14	12 91 13.5	6 45 8
DME1	81 247 18	23 137 15	8 69 9
RA1	16 42 8	11 65 9	5 37 8

从表 1 可看出:同一构型下 ILS1 功能测试程序开发时间最长,原因是该程序作为第一个创建的测试程序,所有测试步骤需完成从无到有的编写。同一构型下其它导航功能测试程序开发时间会受待测需求数量和测试步骤数量的影响,但整体趋势看,测试程序开发时间相对于 ILS1 功能有 20%~30% 左右节约。原因是其它导航功能测试程序对应的需求、测试框架和 ILS1 功能有较高相似度,以 ILS1 功能不同构型测试程序为参考基准,可较容易地实现测试步骤的模块化替换,生成其它导航功能测试程序。RA1 功能由于无需调谐控制和音频控制,需求数量、测试步骤数量和开发时间相对较少。

以民用飞机某导航系统集成验证项目(简称项目二)为背景,该项目采用常规开发方法,对左侧导航功能测试程序对应的待测需求数量(数据加载需求除外)、测试步骤数量和开发时间做了采集,如表 2 所示。

表 2 导航功能测试程序开发时间(项目二)

Table 2 Time of creating NAV test procedures (project 2)

名称	需求数量/条	步骤	开发时间/h
ILS1 功能测试程序	61	260	37
VOR1 功能测试程序	65	255	36
ADF1 功能测试程序	81	321	42
MB1 功能测试程序	57	253	32
DME1 功能测试程序	87	337	44
RA1 功能测试程序	23	121	30

从表 2 可以看出:不同导航功能测试程序开发时间普遍较长,原因是常规开发方法将除数据加

载外的所有需求集中于单个测试程序,导致单个测试程序的验证内容和验证复杂度增加;不同功能测试程序开发时间也会受待测需求数量和测试步骤数量的影响,但整体上比较接近,原因是单个测试程序对应的需求工作包颗粒度太大,且不定定义需求测试框架,缺乏对验证内容的条理性规划,不利于不同功能测试程序在编写时的相互借鉴。

表 3 对表 1 和表 2 中的数据做了汇总,可以看出:针对相同的导航功能,项目二的系统需求相对于项目一更粗略,数量更少;一体化开发方法在总开发时间上和常规开发方法很接近,看似没有节约测试程序开发时间。但相对于常规开发方法,验证的总需求数多了 107 条、总步骤多了近 500,间接体现了一体化开发方法在缩短测试程序开发时间上的有效性。

表 3 导航功能测试程序开发时间对比

Table 3 Compare of time for creating NAV test procedures

项目	开发方法类别	总需求 数量/条	总步骤	总开发 时间/h
项目一	一体化开发方法	481	2042	231
项目二	常规开发方法	374	1547	221

3.2 测试程序测试时间

实际工程中,经常会碰到需要对一组测试程序开展摸底测试或正式测试的场景。假设当前需对一组导航功能测试程序开展测试,为了对比总测试时间,以 ILS1、VOR1 等 6 个功能为例,给出了两种开发方法下测试时间的仿真数据,如表 4 所示,其中:*表示该测试程序存在 1 个潜在故障,无故障时,总测试时间(常规)为 12.5 h;有故障时,测试时间节约*(一体化 vs 常规)为 2.375 h;增加测试时间*(常规)为 3.5 h;增加测试时间*(一体化)为 1.125 h。

表 4 导航功能测试程序测试时间对比

Table 4 Compare of time for executing NAV test procedures

功能	常规/h	一体化		
		构型 1/h	构型 2/h	构型 3/h
ILS1	2.0*	1.00*	0.7	0.30
VOR1	2.0	1.00	0.7	0.30
ADF1	2.5*	1.25	0.8*	0.45
MB1	2.0	1.00	0.7	0.30
DME1	2.5*	1.25	0.8	0.45*
RA1	1.5	0.50	0.5	0.50

假设针对任一功能,两种开发方法对应的测试程序内容完全相同,区别仅在于一体化方法将常规方法 1 个测试程序的内容拆成了 3 个测试程序。进而可假设常规方法测试程序的测试时间为一体化方法构型 1、构型 2 和构型 3 测试时间之和。比如针对 ILS1 功能,常规方法的测试时间为 2 h,一体化方法的测试时间为 $(1.0+0.7+0.3)$ h,也为 2 h,其它功能类似。因此,当所有测试程序均无故障时,常规方法和一体化方法的总测试时间相等,均为 12.5 h。然而,在实际测试中,问题难免。当测试程序执行到一定程度时发现故障,待故障修复后,还需从头到尾完整执行该测试程序,导致测试时间延长。

假设这 6 个功能测试程序中存在 3 处潜在故障,常规方法分别位于 ILS1、ADF1 和 DME1,一体化方法分别位于 ILS1 构型 1、ADF1 构型 2 和 DME1 构型 3。假设所有故障均为测试步骤执行到一半被发现,因此增加的测试时间为原测试时间的一半。基于上述假设,当所有测试程序执行完毕后,从表 4 可看出,常规方法增加的总测试时间为 3.5 h,一体化方法增加的总测试时间为 1.125 h,相对于常规方法有 2.375 h 的节约。当测试程序数量增加或故障个数增加时,相对于常规方法,一体化方法能节约更多的测试时间。

4 结 论

1) CNS 系统测试程序开发时间受需求、设计文件、开发流程、系统设备和验证平台成熟度等诸多因素的影响,缩短测试程序开发时间无法一蹴而就,本质上需按照 ARP4754B 要求做好系统设计和系统验证的各个环节;

2) CNS 系统测试程序测试时间和测试程序内容的可读性、颗粒度、相似性紧密相关,同时又受测试工具、测试手段等因素影响;

3) 一体化开发方法通过增强不同功能测试程序的相似性来缩短测试程序开发时间,手段包括以 CNS 功能相似性特征为牵引对需求进行分类重组,增强测试用例在类别、需求和测试框架的相似性,以及建立统一测试程序开发模板、检查单和参考基准等;

4) 一体化开发方法通过控制测试程序颗粒度来缩短测试程序测试时间,手段主要为将某 CNS 功能对应的系统需求拆分为多个不同构型测试程序来验证,避免了单个测试程序包含过多的测试步骤,尤其当测试过程中出现故障时,能缩短返工测试时间;

5) 一体化开发方法能增强不同 CNS 功能测试程序的相似性,有利于测试人员(特别是新手)快速提升对不同测试程序测试内容的熟练程度,间接节约测试时间;

6) 相对于 ARP4754A,ARP4754B 新增的附录 E 内容(如测试程序开发模板、检查单)适用于一体化开发方法,而和系统安全性相关的绝大部分需求(如故障树定量概率需求^[17]、研制保证等级需求等),将按照 ARP4761A 要求,通过开展系统安全性评估(SSA)来验证,不在本文讨论的范围内。

参 考 文 献

- [1] 何进. 民用飞机机载监视系统发展综述[J]. 电讯技术, 2014, 54(7): 1025-1030.
HE Jin. Development summarization of airborne surveillance system for civil aircraft [J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(7): 1025-1030. (in Chinese)
- [2] SAE International. Guidelines for development of civil aircraft and systems: ARP4754 REV. A(R) [S]. US: Society of Automobile Engineers Inc., 2010.
- [3] Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment: SAE ARP 4761-1996 (SAE ARP4761-1996) [S]. US: Society of Automotive Engineers, 1996.
- [4] SAE International. Guidelines for development of civil aircraft and systems: ARP4754TMREV. B(R) [S]. US: Society of Automobile Engineers Inc., 2023.
- [5] SAE International. Guidelines for conducting the safety assessment process on civil aircraft, systems, and equipment: ARP4761TMREV. A(R) [S]. US: Society of Automobile Engineers Inc., 2023.
- [6] DOU E, REASCOS C. The next step in verification testing of complex Systems is Automation [C] // 2015 IEEE AUTOTESTCON. National Harbor, MD, USA. IEEE, 2015: 194-198.
- [7] DYACHENKO S A, ILYASHENKO D M, NERETIN E S. Overview of automation tools for avionics verification [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1958 (1): 012012.

- [8] SAĞIRKAYA H, AYDEMİR N D, ALTINSOY R. Automation of avionics integration test[C]// 2021 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA). Hong Kong, China. IEEE, 2021: 1-5.
- [9] 雷国志, 王雷, 王涛涛. 民机 CNS 系统适航验证方法分析与实践[J]. 电讯技术, 2014, 54(7): 996-1001.
LEI Guozhi, WANG Lei, WANG Taotao. Airworthiness verification method for CNS system of civil aircraft: Analysis and practice[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(7): 996-1001. (in Chinese)
- [10] 赵长啸, 阎芳, 王鹏. 综合模块化航电系统适航审定要求分析[J]. 电讯技术, 2015, 55(10): 1134-1140.
ZHAO Changxiao, YAN Fang, WANG Peng. Airworthiness certification requirements analysis for integrated modular avionics system [J]. Telecommunication Engineering, 2015, 55(10): 1134-1140. (in Chinese)
- [11] 张军才, 茹伟, 刘绚. 民机复杂航电系统验证体系研究[J]. 航空计算技术, 2022, 52(1): 131-134.
ZHANG Juncai, RU Wei, LIU Xuan. A research on verification architecture of civil complex avionics system [J]. Aeronautical Computing Technique, 2022, 52(1): 131-134. (in Chinese)
- [12] 张军才, 胡林平. 面向民机复杂航电系统的综合验证平台研究[J]. 电光与控制, 2023, 30(2): 71-74.
ZHANG Juncai, HU Leping. An integrated verification platform for complex civil avionics system [J]. Electronics Optics & Control, 2023, 30(2): 71-74. (in Chinese)
- [13] 张军才, 刘绚, 李碧涵. 机载电子系统验证能力建设研究[J]. 航空计算技术, 2023, 53(1): 131-134.
ZHANG Juncai, LIU Xuan, LI Bihan. Research on verification capability construction of airborne electronic system [J]. Aeronautical Computing Technique, 2023, 53(1): 131-134. (in Chinese)
- [14] 刘天华. 民机无线电 CNS 系统一体化架构设计[J]. 电讯技术, 2010, 50(7): 1-5.
LIU Tianhua. Integrated architecture design of radio CNS system for civil aircrafts [J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(7): 1-5. (in Chinese)
- [15] 杨斌, 雷国志. 大中型飞机分布式通信导航监视系统架构设计[J]. 电讯技术, 2022, 62(7): 865-873.
YANG Bin, LEI Guozhi. Architecture design of distributed CNS system for large and medium aircrafts [J]. Telecommunication Engineering, 2022, 62(7): 865-873. (in Chinese)
- [16] 程学军, 雷国志. 航空电子系统基于需求的自动测试方法[J]. 电讯技术, 2010, 50(8): 165-169.
CHENG Xuejun, LEI Guozhi. An automatic test method based on avionics system requirement [J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(8): 165-169. (in Chinese)
- [17] 张辉, 陈世浩. 民用飞机着陆系统安全性评估的故障树分析[J]. 航空工程进展, 2021, 12(1): 64-71, 90.
ZHANG Hui, CHEN Shihao. Fault tree analysis for safety assessment of civil aircraft landing system [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(1): 64-71, 90. (in Chinese)

(编辑:丛艳娟)