

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.03.004

基于模型的航电系统集成验证技术研究

Research on Model-based Integration and Verification Technology of Avionics System

许光磊 刘永超 高斌 郑凯 / XU Guanglei LIU Yongchao GAO Bin ZHENG Kai

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

为了满足系统集成度高、交联关系复杂的航电系统集成验证需求,提出了基于模型的航电系统集成验证技术。详细介绍了基于模型的航电系统仿真和测试方法,航电系统仿真建模规范,以及基于模型运行的航电系统集成验证平台。通过在航电系统集成过程中的应用,基于模型的集成方法有效地提高了航电系统集成效率,保证了航电系统集成准确度。该方法可应用于航电系统全数字集成、半物理集成和全实物动态集成,保证各阶段试验的衔接,持续提升航电系统集成工作的技术水平。

关键词: 基于模型; 航电系统; 系统集成

中图分类号: V243

文献标识码: A

[Abstract] In order to meet the integration/verification requirement of high integrated and more complex avionics system, this paper proposes model-based integration and verification technology of avionics system. The model-based system simulation and test solution, simulation model specification, and model-based working system integration and verification platform are described in detail. Through the application in the integration of avionics system, the integration efficiency is enhanced and the accuracy is assured by using the model-based system integration method. This method can be used in the full-digital integration phase, hardware-in-loop integration phase and full system dynamic integration phase, it will improve the joined technical work among the three phases, and keep on enhancing the technology level of the avionics integration.

[Keywords] model-based; avionic system; system integration

0 引言

现代民用客机航电系统已经由原先的分立式、联合式变为现在的集成模块化、分布式的航电系统,由于先进科技在民用飞机航电系统上的应用,使得航电系统功能越来越强大,交联越来越复杂。同时,航电系统已经成为机上最为关键的组成部分,对提高飞机的性能指标,确保飞机安全性和降低飞机全生命周期成本起到关键的作用^[1-3]。由于民用飞机的研制必须符合各国或地区的适航规章,满足飞行适航要求,因此对于飞机的各项技术需求及采用的关键设计技术,从系统设计到产品研制,均需开展相应的从试验室验证

到飞行测试的验证工作,来最终表明飞机满足适航审定的各项条款,研制保证流程能够被适航当局认可。由于试验室试验在成本、技术和安全性方面的优势,在地面试验室进行充分的试验室集成验证试验,完成航电系统的试验室集成、验证,已经成为各航空产品研制单位、飞机主制造商的普遍选择^[4]。

本文研究了基于模型的航电系统集成验证技术,并基于航电系统不同设计阶段和集成验证阶段的需要,开发了航电系统模型,搭建了航电系统集成验证平台,进行了航电系统的试验室集成和验证测试。

1 基于模型的航电系统集成验证思路

民用飞机航电系统一般包括 ATA23 通信系统、ATA31 指示/记录系统、ATA34 导航系统、ATA42 航电核心处理系统、ATA44 客舱系统、ATA45 机载维护系统及 ATA46 信息系统。各系统又由大量设备构成,且各系统间的交联和协作关系复杂。为了提高系统集成的效率,减少人力和时间成本,必须采用科学的方法,以降低集成的复杂度^[5-7]。

基于模型的航电系统集成采用增量式的集成策略,在全系统数字仿真的基础上,通过真实试验件与仿真件之间的逐一替换,逐步完成从核心处理、机载网络集成开始,到完成通信导航系统以及其他航电系统集成的增量式集成验证工作。这种分步集成的策略使得每一次集成的关注点从子系统级需求、系统级需求逐步转移到最终的航电系统飞机级需求以及性能需求,使得整个集成过程中充分验证了飞机航电系统各层级需求,确保最终整体系统集成的顺利完成,降低了整体系统集成的复杂度。逐一替换的增量式集成方式如图 1 所示。

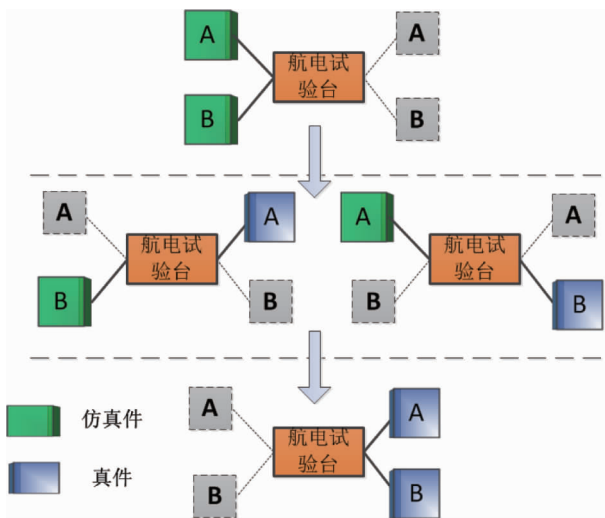


图 1 逐一替换的增量集成方式

为了很好地实施分步集成策略,需要搭建航电系统集成验证平台,该试验平台既可以在设计研发的早期运行航电各系统仿真模型,支持航电系统研发测试,又具备接口数据仿真激励能力,可以与模型一起构建硬件在环的试验场景,完成半物理集成测试。同时,试验平台还提供高效的配线系统,可以方便地进行仿真件与真实试验件的切换,保证数字模型试验、半物理试验以及全实物试验的构型顺

利切换。通过这样的方法,使得设计阶段的模型和测试用例可以被反复地应用到后续各层级的系统集成测试当中,提高了系统研制的效率,保证了测试的一致性,最终提高产品的质量。

该集成策略需要将各个系统开发的仿真模型集成到统一的硬件平台,并接受统一的人机界面控制。仿真试验运行过程中,模型与模型之间、或模型与其他试验分系统之间需要配合工作,通过试验网络进行控制指令、状态和数据的相互收发,所以在模型开发之初,必须从仿真系统总体设计的角度,提出航电系统仿真建模规范,对模型的外部接口形式进行规范化约束,以保证模型能够被集成到试验系统中。航电系统仿真建模规范如图 2 所示。

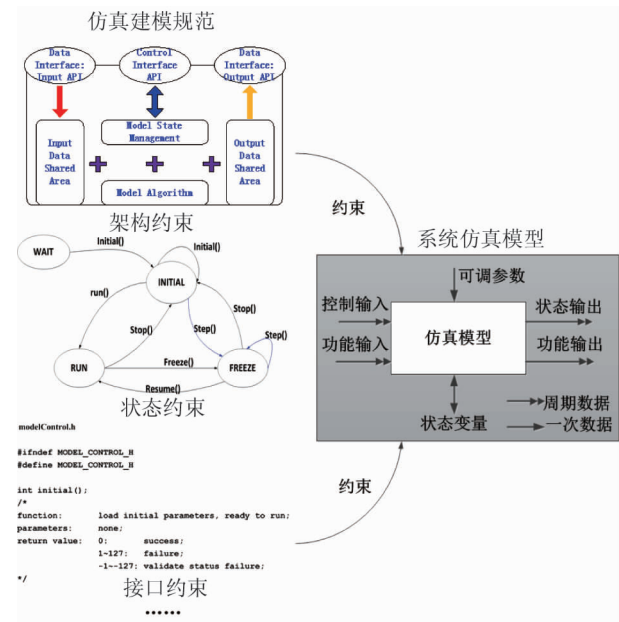


图 2 统一的航电系统仿真建模规范示意图

2 基于模型的航电系统集成验证实施

模型化、自动化和分布化的航电系统集成验证方法已经在某型号飞机航电系统集成验证活动中得到了充分的实施和应用。在航电集成验证工作中,搭建了基于模型的航电系统集成验证环境,并基于航电系统集成验证环境,完成了全数字、半物理到全实物在环的航电系统集成验证。

2.1 基于模型驱动的航电系统集成验证平台

基于模型驱动的航电系统集成验证平台为航电系统模型、航电系统总线接口仿真和航电系统真实试验件提供了统一的运行环境,可以方便地进行全数

字、半物理、全实物的切换,在不同试验构型需求下,搭建/切换不同的试验构型,支持从设备到子系统、系统以及飞机级不同试验需求的试验。试验平台由工程驾驶舱(安装了飞机驾驶舱的显示器和控制组件)、设备架(安装了飞机 E-E 舱设备架的 LRU)、飞行仿真与飞行环境仿真、仿真激励器、配线系统(真件/仿真件切换)、数据采集/记录系统、故障注入模块等子系统组成。试验平台将集成航电系统以及与航电系统有交联关系的飞机系统控制器部分。这些系统有两种模式:使用真实的 LRU 或者该系统控制器的仿真器。仿真器采用基于 ICD 的接口仿真,并在后台采用仿真模型驱动。飞行仿真提供一个 6 自由度的飞机模型用于模拟一个完整的飞行起落过程以及飞行员的操作接口。飞行环境仿真提供标准大气仿真,风和紊流仿真,无线电导航台仿真,地面地效(摩擦力)及机场等。飞行仿真和飞行环境仿真为航电系统的测试提供飞行状态和环境数据激励源,要求飞行仿真能够进行全飞行包线的仿真。在试验过程中,飞行仿真模型将解算出的飞行参数共享给各参试系统,使整个试验环境协调在一个共同的飞行场景下,构成基于模型的全动态试验环境,满足航电系统基于场景测试的全动态试验要求。基于模型的航电系统集成验证平台设计如图 3 所示。

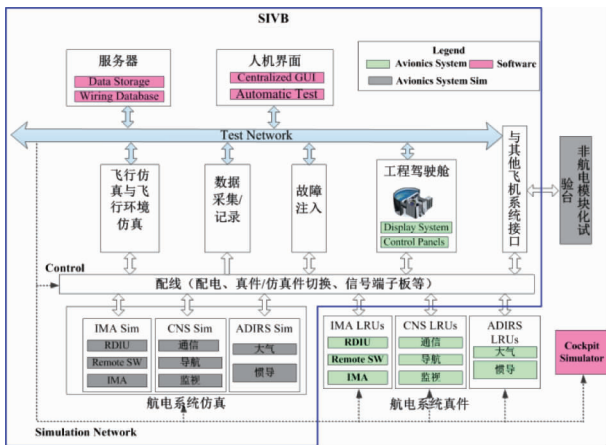


图 3 基于模型驱动的航电系统集成验证平台

2.2 基于模型的航电系统集成

基于模型的航电系统集成从全数字集成开始,逐步替换为带有物理总线接口的仿真件,再全部替换为真实试验件,最终完成航电系统实物构型的场景试验,试验过程如图 4 所示。在某型飞机航电系统集成过程中,首先基于 VAPS 开发环境,开发了显示系统模型以及相关的控制板、顶部版、中央操纵

台模型,用以对 POP(飞行员操作程序)和显示器接口逻辑进行虚拟集成。同时基于 simulink 模型开发了大气数据、惯导等子系统仿真模型,基于 C++ 开发了飞行管理系统模型。各系统模型统一运行于航电系统全数字网络环境下,对航电系统进行基于模型的集成,充分验证各个系统间信号和数据流传输和逻辑接口,并对各个仿真模型组成的航电系统功能以及飞行员操作程序进行验证。

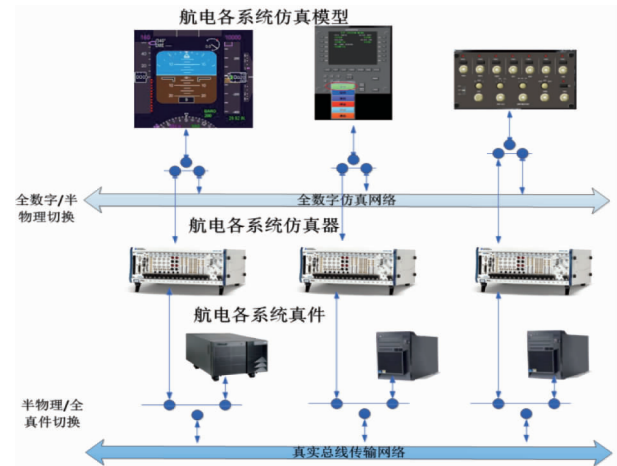


图 4 基于模型的航电系统集成过程

系统模型开发的流程以及基于模型的航电系统集成过程如下:

依据航电系统仿真建模规范,首先搭建了通用的飞行仿真和飞行环境仿真模型,可以模拟飞机的整个飞行过程,并提供了飞行仿真、飞行环境仿真接口;依据仿真规范定义的接口规范和设计 ICD 文件,开发和集成飞机系统和传感器模型,并通过面向数据订阅/发布机制,与飞行仿真和飞行环境仿真实现一体化集成,在此过程中,如果可以协调系统供应商提交高精度系统与设备功能模型,则可逐一替换和迭代,提高仿真功能和性能的逼真度,完成基于模型的航电系统全数字集成。图 5 说明了供应商提交的发动机模型和飞机操稳专业提供的飞机气动模型对通用发动机和飞机模型的替换过程。在完成基于模型的全数字集成后,集成过程逐步过渡到半物理仿真集成阶段。在这一阶段,模型的输入、输出数据通过硬件板卡发送到真实的飞机网络,利用真实的飞机网络与其它系统进行通信。某型飞机航电系统使用的飞机总线包括 ARINC664、ARINC429、ARINC825、AD、DA、DIO 等总线,系统模型与各型总线板卡结合,形成了半物理环境,在半物理环境下完成对系统功能、输入/输出接口、逻辑功能的验证。

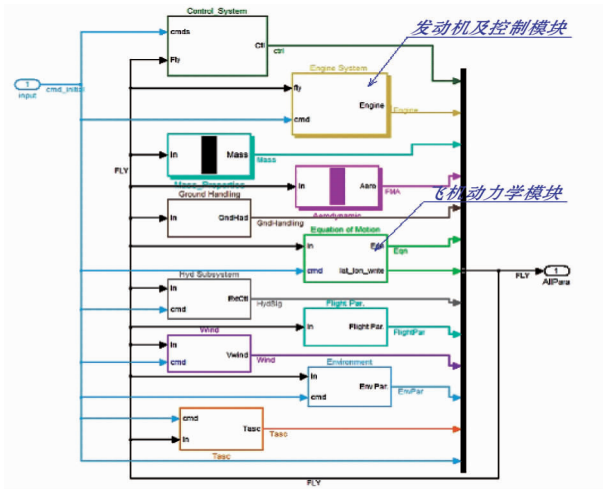


图5 系统模型对通用模型的替换过程

在完成基于模型的半物理仿真集成阶段后,集成过程逐步替换到实物集成阶段,如图6所示。在全实物在环集成阶段,通过激励器的方式激励各个航电传感器设备工作,其中艾法斯公司提供的激励设备完成对通信、导航、监视系统的激励,采用总静压模拟器完成对大气数据系统的激励,采用三轴转台和加速度转台同时激励并融合惯导参数完成对惯性导航系统的激励,其余非航电系统采用仿真模型的方式进行激励。航电系统的激励器和非航电系统的仿真器数据来源于统一的飞行仿真与飞行环境仿真,可以在此构型下完成基于真实飞行场景的航电系统全实物在环动态集成试验。

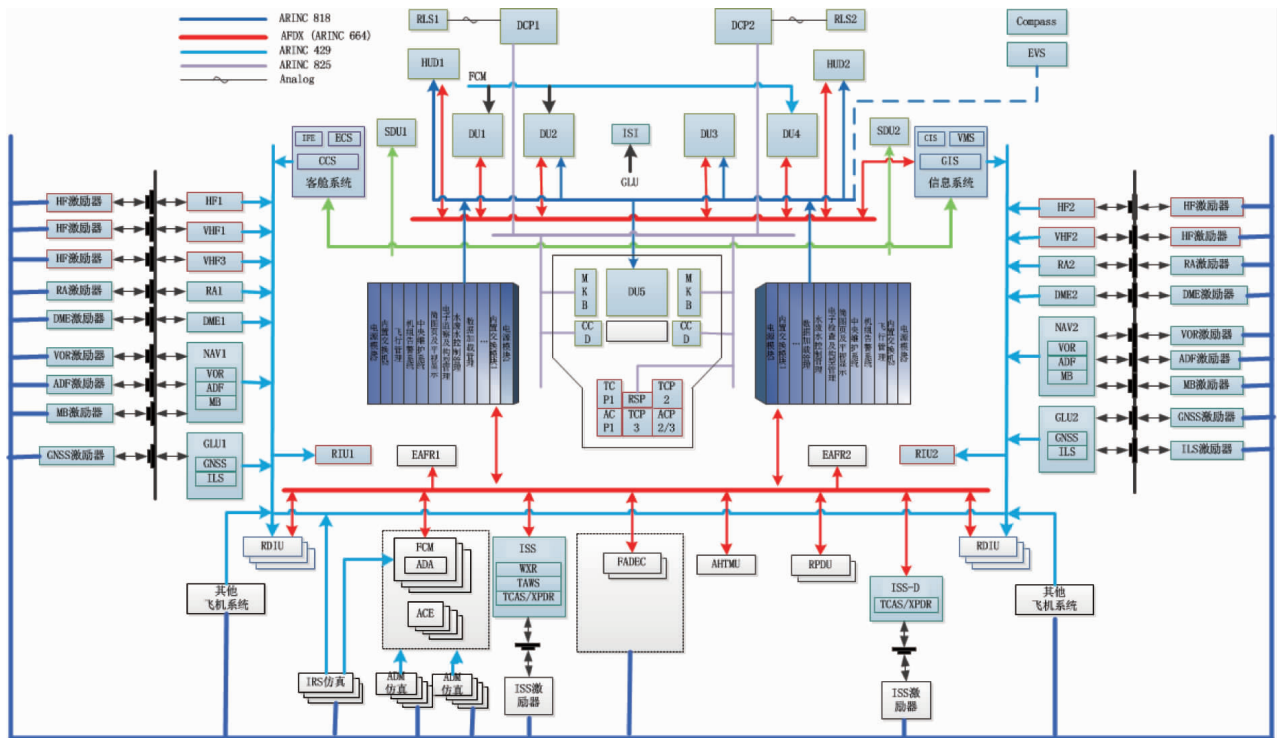


图6 航电全实物集成阶段及设备激励示意图

3 结论

在某型飞机航电系统集成验证过程中,采用了基于模型的航电系统集成验证方法。在该方法的指导下,提出和编制了航电系统仿真建模规范,搭建了基于模型驱动的航电系统集成验证平台,集成了航电系统仿真模型、航电系统仿真件、航电系统蓝标签、红标签试验件,完成了基于模型集成的全数字集成阶段,基于仿真器集成的半物理集成阶

段,基于系统实物件集成的全实物在环集成阶段,最终完成了航电系统集成活动。它们不仅支持了航电系统研发各个阶段的需求确认和方案论证等研发活动所必需的测试,同时完成了飞机系统和产品的集成和验证试验。在整个集成过程中,各种试验构型可以灵活切换,支持航电系统原型与原理级研发测试,支持子系统级、系统级和飞机级集成验证活动,整个活动在统一的飞行仿真环境下进行,为各系统试验件和模型的动态集成提供了统一的

动态集成环境。基于模型的航电系统集成验证方法提升了各个阶段集成的继承性,提高了集成工作效率,保证了集成的质量,大大提升了某型飞机航电系统集成验证的有效性和置信度。

参考文献:

- [1] 张潇,王立松,让涛. 基于模型的综合航电平台初步设计[J]. 计算机与现代化, 2016,6:29-35.
- [2] 《飞机设计手册》总编委员会. 飞机设计手册第17册:航空电子系统及仪表[M]. 北京:航空工业出版社, 2001.
- [3] 吴建民,吴铭望,李国经. 大型客机航空电子系统研发关键技术分析及建议[J]. 航空制造技术, 2008(16):46-49.
- [4] 丛帅,王明波,安田江,华思亮. 基于模型的航电系统研发方法研究[J]. 测控技术, 2015,34(1):126-129.
- [5] 张维. 基于可测试性的新航电系统半实物仿真技术的

研究[D]. 天津:中国民航大学, 2014: 5-25.

- [6] 宫谊凡,蒲小勃,刘军,等. 基于UML语言的航空电子系统快速原型设计[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(4):749-753.
- [7] Estefan J A. Survey of model-based systems engineering (MBSE) methodologies[M]. San Diego, California: INCOSE, 2008.

作者简介:

- 许光磊 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:航电系集成验证。Tel: 20864853, E-mail: xuguanglei@comac.cc
- 刘永超 男,学士,研究员。主要研究方向:航电系统设计、集成与验证。Tel: 20864760, E-mail: liuyongchao@comac.cc
- 高斌男 硕士,高级工程师。主要研究方向:航电系统集成验证。Tel: 20864851, E-mail: gaoino@comac.cc
- 郑凯男 硕士,工程师。主要研究方向:航电系统集成验证。Tel: 20864850, E-mail: zhengkai@comac.cc