

# 飞机航空电子系统综合验证平台研究

## Research on Integrated Test Platform for Avionics System of Aircraft

中航工业第一飞机设计研究院 周涛 赵永库



周涛

硕士,助理工程师,主要从事机载网络研究和航空电子系统综合验证工作。

研究了飞机航空电子系统的综合验证平台,对全数字仿真平台、半物理仿真平台、全物理仿真平台的特点和作用进行简要分析,针对实际中应用最为广泛的半物理仿真平台进行详细分析,列出其主要组成部分和每部分的功能,对新一代航空电子仿真验证平台的需求进行了详细分析,从试验设计和试验执行2方面提出了改善方法,提出了分立式综合验证平台的思路,为飞机新生型号验证平台设计提供了借鉴。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.04.062

电子系统已经成为保证飞机安全和完成各种飞行任务不可或缺的部分,涉及学科广,更新换代快,能力不断提升,逐渐向模块化、综合化和智能化方向发展<sup>[3]</sup>,使系统的集成和综合验证成为一项更加复杂的系统工程。

综合验证是飞机型号研制过程中最为关键的环节,可以验证飞机的各种功能。性能是否满足设计要求,是确保满足用户需求的关键环节,日益受到用户和工业部门的重视。传统的综合验证平台环境下耗费大量人力、物力,导致型号研制周期变长、研制费用增长。为了节约成本,缩短研制周期,新时期对验证平台提出了

更高的要求,而现代网络技术、通信技术、计算机技术及虚拟仪器等技术的快速发展,为研制更加先进、高效、实用、完善的综合验证平台提供了条件<sup>[4]</sup>。

本文针对航空电子系统,对几种综合验证平台进行了简述,重点分析了半物理综合验证平台的架构组成,并研究分析了新一代综合验证平台的需求和发展方向,为新型号验证平台建设提供了借鉴。

### 综合验证平台简要分析

航空电子系统综合试验验证是利用仿真与测试平台,逐步把航空电

现代航空电子系统综合验证存在于航空电子系统开发研制、集成测试、投入使用以及升级维护过程中,几乎贯穿于飞机整个生命周期。通过试验尽早暴露设计缺陷、发现问题,可以有效降低系统开发集成风险,缩短研制周期<sup>[1]</sup>。对于现代飞机而言,先进的航空电子系统可以执行越来越多的任务,逐渐将飞行员从单调重复的飞行中解放出来<sup>[2]</sup>。航空

子系统内部结构中的各分系统模型或设备实物按照系统设计的逻辑架构和物理架构集成起来,使在各种适当的外部环境中动态运行,从而验证系统是否满足功能与性能等设计要求。在航空电子系统的研制周期内,有全数字仿真综合、半物理仿真综合和全物理系统综合3种验证平台,以保证在系统需求分析和设计阶段、软件开发阶段、子系统开发阶段和全系统综合阶段进行不同层级的综合测试。

全数字仿真是通过数学的方法,以纯软件形式存在于宿主机上实现仿真运行的一种方法,对于在系统的软硬件建立前发现问题、解决问题、减小项目风险有重要意义。半物理仿真通过激励器和仿真器提供某一航空电子设备工作的环境,从而完成对其功能、逻辑、控制、接口的验证,在整个航空电子系统集成过程中必不可少。全物理系统是将被测设备置于完全真实的运行环境,通过真实总线与其他设备和系统相连,利用仿真模拟外围传感器数据,完成系统综合验证<sup>[5]</sup>。

以某型民用飞机研制过程为例,初期通过建立其显示控制系统以及与航空电子系统交联的其他系统接口的全数字仿真验证平台,验证显示控制系统的正确性、人机交互界面和显示资源分配的合理性、画面切换及系统接口的合理性与正确性等。全数字仿真灵活方便,在系统的需求分析、初步设计、详细设计和系统开发阶段发挥着重要作用,对民用飞机来说可以支持系统精度分析和分配、支持验证模型和算法的正确性、支持系统设计的优化与迭代、支持验证系统设计的正确性等,此外,对于军用飞机还可支持其作战概念、作战模式和作战需求的研究等。

半物理仿真和全物理系统对于航空电子系统这样的复杂系统来说,只是一个相对的概念。如对于子系

统或设备级的验证,当组成子系统的所有部件为真件时,可以认为这是一个子系统级的全物理仿真试验;在系统级的验证中,组成系统的所有子系统均为真件时,认为其是系统级的全物理仿真试验。

一般认为试验室的航空电子系统验证平台是半物理仿真平台,广泛应用于航空电子系统研制、功能性能验证、升级维护等过程,可有效支持各项任务软件及其子系统的开发、调试和测试,系统集成测试,航空电子系统中试验以及地面故障复现,提供适航认证及试飞支持、支持飞行员操作培训等。半物理仿真综合验证平台继承了全数字仿真综合验证平台的成果,转变成为具有真实物理接口的验证平台,通常采用增量式的集成策略,关注点从每个子系统软硬件功能最终转移到大系统的整体功能,进而完成大系统集成测试。

一般认为机上试验为全物理系统平台,在所有航空电子设备装机后,支持针对航空电子设备功能、性能、接口等进行的地面试验或飞行试验,以验证各子系统功能及安装是否满足设计要求和适航要求、各系统间的交联接口的正确性及各系统主要性能指标是否满足设计要求,同时支

持全机电磁兼容定性和定量试验,以验证执行关键功能的电子电气系统不存在不利的电磁兼容性影响。

## 半物理仿真综合验证平台架构

半物理仿真综合验证平台是航空电子系统集成过程中必不可少的,是应用最多、最广的,也是本研究关注的重点。一般所指的综合验证平台均为半物理仿真验证平台,继承全数字仿真成果,其建设从座舱试验到分系统试验,再到全系统集成测试,最终完成与飞机其他系统的联试。半物理仿真综合验证平台主要包括:试验总控系统、试验网络配线系统、仿真激励系统、视景系统、试验座舱、供配电系统、数据采集记录系统等,其系统架构如图1所示。

### 1 试验总控系统

试验总控系统提供各类上位机软件供试验人员使用,通过以太网对各类试验设备进行统一管理<sup>[6]</sup>,实施对整个试验过程中的资源配置运行管理、数据管理、数据监控、故障注入、时钟同步和试验管理等功能。

### 2 试验网络配线系统

试验网络配线系统分为网络和配线2个部分,试验网络分为控制网

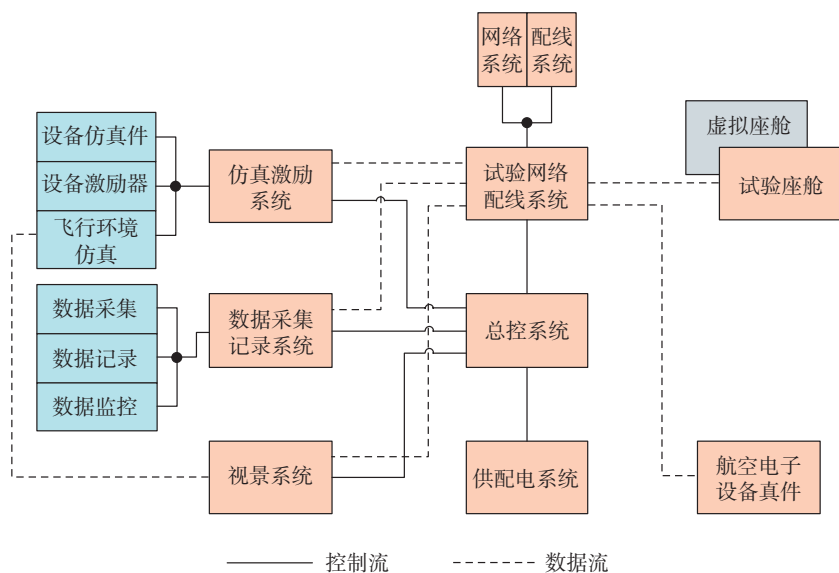


图1 综合验证平台系统架构

络、数据网络和时钟同步网络 3 部分。控制网络实现上位机软件对下位机的控制,将总控网络的控制指令下达至各类试验资源;数据网络实现各类数据的分发和接收;时钟同步网络保证了动态综合试验时各系统工作在同一时间轴,支持精确的时间分析。控制网络一般采用以太网实现;数据网络对实时性要求高,采用具有内存共享、延迟小于  $3\mu\text{s}$  的实时网络,一般采用反射内存网或广播内存网;时钟同步通过真实总线实现。配线系统通过接收总控系统的指令完成真件/仿真件之间的切换,实现试验构型的改变。

### 3 仿真激励系统

仿真激励系统包括飞行环境仿真、设备激励器和仿真器设备。飞行环境仿真主要为航空电子试验提供动态的实时飞行环境参数、飞机飞行参数、飞机性能参数等。设备激励器在环境仿真的支持下,为机载设备提供在任务剖面内工作所需的传感器信号,是综合验证平台重要的支持设备。设备仿真件主要实现航空电子分系统模拟和非航空电子系统模拟等,支持系统的增量式集成策略,进而实现从全数字到半物理平台的平滑过渡。

### 4 视景系统

将试验座舱中操纵组件信号接到飞行仿真系统,飞行仿真系统将基于目标模型和地景数据库解算得出的数据输入视景系统,驱动视景系统动态地显示出飞机控制操纵效果相应的飞机环境,提高试验结果的可视性,为飞行员初步体验和培训提供了平台。

### 5 试验座舱

座舱是人机交互的主体,是航空电子系统大量试验的显示与控制端,拥有各种操作机构、控制器、指示器、开关按钮、指示灯等电气设备。试验座舱继承全数字仿真平台的虚拟座舱部分,以型号座舱布局为基础,包

含了驾驶舱操纵组件、多功能显示器和相关控制面板等。

### 6 供电系统

供电系统对各工作站、仿真器、激励器采用市电供电;真实航空电子系统设备通过将普通市电采用整流、逆变等方法转为所需的

执行成为提高系统试验质量和效率的 2 个重要方面<sup>[1]</sup>。基于上述问题,综合验证平台在支持飞机安全性、适航认定试验的基础上,提出了优化设计、自动测试的要求,本研究据此提出了新一代综合验证平台,其具有的特点如图 2 所示。

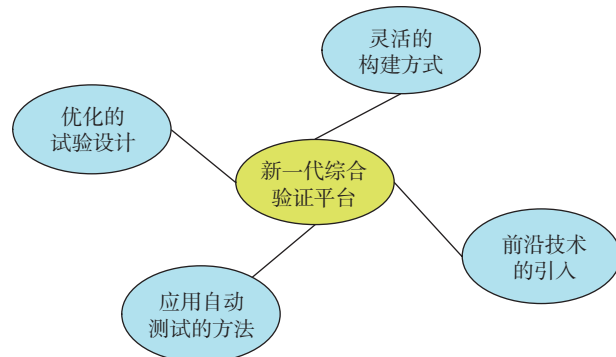


图2 新一代综合验证平台的特点

115V/400Hz 恒压恒频交流电或 28V 低压直流电供电,并在每个设备端带有加电断电管理功能,同时有过压、过流、欠压等保护功能。

### 7 数据采集记录系统

数据采集系统实时采集试验数据且不影响航空电子系统正常工作,主要采集不同总线数据和离散量数据,并对采集来的信号加上时标放入实时网共享内存,可以用来实时监控数据,同时供记录模块读取数据并将其保存至数据库中,以便分析和回放使用。

除上述系统之外,综合验证平台还包括其所需的各类连接线缆、设备台架、通风冷却等配套设施,从而构成一个完整的半物理仿真综合验证平台,是当前航空电子系统试验验证的主要平台。

## 新一代综合验证平台研究

如何提高系统综合试验的质量和效率,是航空电子系统设计和验证人员一直关注的问题。提高人员素质和规范试验流程是保证质量和效率的前提,而改善试验设计和试验

### 1 试验设计的优化

试验设计是后续试验程序的依据。试验需求的正确把握与否、试验内容的全面详细与否、试验方法的合理具体与否、评估方法的合理与否等都关系到试验的质量。

以某一航空电子系统软件验证计划设计为例,正确地把握试验需求是试验规划设计的第 1 步。试验的需求往往可以通过软件合同的需求、各类标准、软件性能及功能要求为基础,进行总结提炼,并通过多位专家把关,明确需求;试验内容建立在试验需求的基础上,确定试验的具体项目,再分解项目直至每个子项目不可分解时,对每层分解项进行详细描述,可以正确、全面地完成不同层次的试验内容;试验方法是针对试验内容,设计出一组合理的合乎逻辑的流程,关系到试验的价值;评估是试验走向结束不可或缺的一步,关系到试验的意义,如针对软件考虑逻辑、精度、边界条件以及影响试验的因素,可以对试验结果的可信度有更好的把握。

### 2 自动测试验证研究

传统的试验需要在人机界面上通过完全人工的方法执行整个过程,而航空电子系统的功能逻辑和接口关系极其复杂,操作和外部环境也很复杂,因此其试验过程繁琐,对此,本研究提出了自动测试的方法。自动测试是通过数据采集设备、存储设备和相应可编程设备等对机载电子设备进行快速精确的测试,使人工干预降到最低限度<sup>[7]</sup>。

在试验内容条目确定后,基于测试用例的自动测试验证方法对于提高试验效率有明显作用,基于计算机技术可编制规范的、确定性的以及可重复的试验程序。测试用例程序应包括测试目的和方法、操作步骤、检查的事件和系统状态的转移、检查的信号和数据流、准备的测试算法与模型、外部条件设置、期望响应和测试输出评估依据、精度分析算法等。测试用例执行时,系统应自动采集、记录相关总线消息,对数据流、控制流进行分析,并与期望响应对比,按照评估依据生成测试报告。基于测试用例的自动测试方法对于确定性的、可验证的模型实现了高效准确的测试验证,对于提升全数字仿真平台、半物理仿真平台、全物理仿真平台能力和效率都有重要意义。

自动测试对于相对成熟系统和大量重复性试验有重要意义。然而自动化测试验证需要一定的实现和维护成本,完全覆盖整个试验设计几乎是不可能的,在其覆盖面和人工参与面找到最佳平衡点对于民机航空电子设备研发降低成本有现实意义。同时,由于航空电子系统的复杂性和重要性,在综合试验初期和其他重要试验过程中,自动测试不能完全替代人工完成。

### 3 前沿技术的引入

新一代的综合验证平台改善了试验设计和试验执行,可以大幅提升验证质量和效率。除此之外,新一代综合验证平台在设备和技术方面

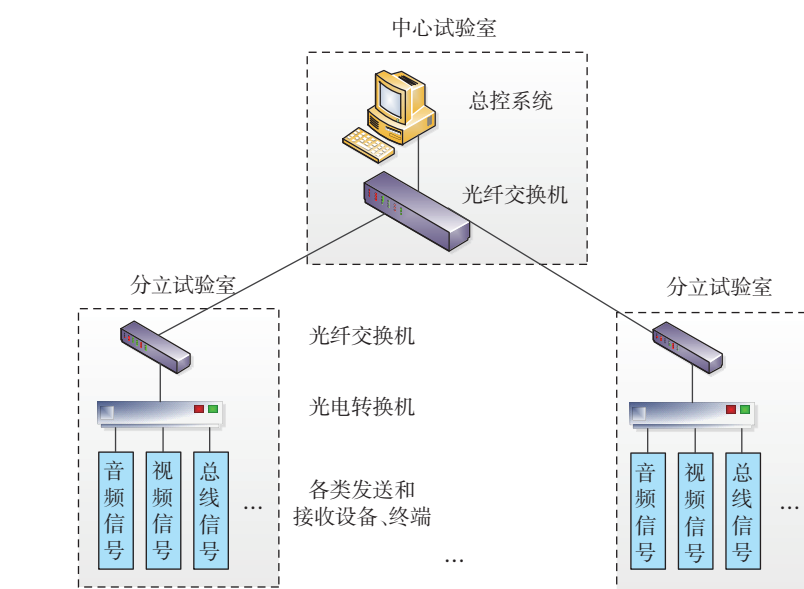


图3 分立式验证平台简要架构

也不断获得提升,如为了给复杂系统提供简单便捷的使用环境,引入中间件技术到验证平台的网络中,可以降低通信复杂度,且易于系统扩展;在总控系统中引入简洁触摸式人机界面,将远程管理的技术运用到试验管理中,从而避免试验人员之间的喊话、人员来回走动等,提高了验证效率<sup>[8]</sup>。

### 4 灵活的构建方式

随着光纤技术和光电设备的发展,新一代验证平台尤其是半物理仿真平台的建设也更加自由,可以通过光电设备和光纤连接线使不同实验室的试验设备和被测设备实现稳定、可靠、实时的连接,同时通过音频、视频技术使互相交联而分立的实验室成为一个综合的大型实验室,图3显示了其简要架构。这对于实验室建设中利用已有资源、节约成本具有重要意义。

### 结束语

本文研究了飞机航空电子系统的综合验证平台,对全数字仿真平台、半物理仿真平台、全物理仿真平台的特点和作用进行简要分析,针对实际中应用最为广泛的半物理仿真

平台进行详细分析,列出其主要组成部分和每部分的功能,对新一代航空电子仿真验证平台的需求进行了详细分析,从试验设计和试验执行2方面提出了改善方法,提出了分立式综合验证平台的思路,为飞机新生型号验证平台设计提供了借鉴。

### 参考文献

- [1] 蒲小勃. 现代航空电子系统与综合. 北京: 航空工业出版社, 2013.
- [2] Federal Aviation Authority. Advanced Avionics Handbook. Washington: FAA, 2009.
- [3] 马银才, 张兴媛. 航空机载电子设备. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [4] 周卫春. 通用化航空电子综合测试系统设计. 测控技术, 2012, 31(5): 99-106.
- [5] 曹全新, 王学锋, 胡兴荣. 航空电子综合仿真系统研究. 测控技术, 2008, 27(2): 76-79.
- [6] 赵红军, 蔡志勇, 程海峰. 现代飞机航电系统集成验证方法研究 // 中国航空学会. 第五届中国航空学会青年科技论坛论文集. 北京: 中国航空学会, 2012: 243-248.
- [7] 孟益民, 王昕. 民用飞机航电系统自动化测试与管理设计研究. 科技创新导报, 2011, 29: 17-18.
- [8] 张家玲, 李大良. 飞机航空电子系统地面验证环境中试验管理平台设计. 飞机设计, 2008, 28(3): 41-44.

(责编 亿霖)