

数字试飞场景下的飞行试验云测试技术分析

吕昊

(中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089)

摘要 自航空工业进入快速发展阶段以来, 飞行试验测试系统的优化与升级稳步推进, 但因飞行器性能要求的不断提高和测试场景日益复杂, 提升测试效率、降低测试成本、确保测试结果准确已势在必行。本文基于此背景简要探讨了云测试技术特性及需求分析, 探索了云测试技术在飞行试验测试系统中的应用, 以期能为飞行试验测试系统的持续优化提供支撑, 助力飞行试验持续发展。

关键词 云测试; 飞行试验; 测试系统

中图分类号: V21

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.009

0 引言

随着航空工业快速发展, 飞行试验在验证飞行器性能、确保飞行安全方面尤为重要。但传统飞行试验测试系统面临测试环境受限、资源配置不足、测试效率低下等问题, 制约飞行试验深入进行。云测试技术基于云计算的智能调度能力, 可快速构建测试环境、配置资源, 并模拟出真实飞行中各种极端情况, 对飞行系统进行全面、深入测试。探讨云测试技术在飞行试验测试系统中的应用, 分析其在测试环境搭建、资源配置、性能测试、负载测试等方面的表现, 对推动飞行试验测试技术进步创新具有重要意义^[1]。

1 数字试飞场景概述

数字试飞场景下的飞行试验云测试技术分析, 其系统应用的核心前提在于被试产品已经全面实现了数字化。从产品设计、制造到测试评估各环节, 都已深度融合数字化技术。数字化体现在产品设计图纸和制造流程的电子化, 可生成、收集和处理大量的数字化试飞数据, 通过云计算平台进行高效分析处理, 为飞行试验提供关键信息。数字化产品的实现, 使得试飞过程中各种参数、性能指标皆可以数字形式记录, 保证测试数据准确完整。此外, 数字化还便于在虚拟环境中进行模拟预测, 为飞行试验提供全面、深入的评估方式。

2 云测试技术特性

2.1 弹性资源配置

传统测试环境需预先配置大量硬件资源, 耗时费力, 且难以根据实际需求调整, 而云测试技术通过云端虚拟化技术, 实现测试资源动态分配及按需扩展, 云测试平台可根据测试任务需求, 调配相应计算、存

储及网络资源, 保证测试过程高效运行。另外, 传统测试环境需持续占用大量硬件资源, 即便在没有测试任务时, 相关资源也无法得到有效利用, 造成资源的浪费。云测试平台采用按需付费计费模式, 根据实际使用的资源量进行支付即可, 无需为未使用资源承担费用, 计费方式可降低测试成本, 提高资源的利用率, 实现降本增效。此外, 还可按照测试任务需求, 选择不同云服务商、不同云资源规格及配置, 以满足不同测试场景需求, 提高了测试准确性。

2.2 按需付费

在传统测试模式下, 测试资源配置大多固定, 需预先投入硬件、软件资源, 出现资源闲置浪费情况, 增加测试成本不确定性。云测试技术通过按需付费的模式, 根据实际测试任务需求, 动态地申请及使用云端的测试资源, 如计算能力、存储空间、测试工具等, 按照实际使用量进行付费, 可降低测试成本, 提高资源利用效率。应对快速变化市场需求及不断迭代产品版本, 可迅速调整测试策略及资源配置, 以适应新测试需求, 并不会发生因资源不足或过剩而导致的测试延误或成本超支情况。云测试平台还可根据测试任务实际需求, 实时调整资源分配, 保证测试过程顺畅进行。在云端, 测试资源可共享利用, 提高资源利用率, 促进测试知识及经验交流学习, 推动测试能力整体提升^[2]。

2.3 自动化测试

传统测试环境受限于硬件资源、测试工具等因素, 难以实现全面自动化, 云测试技术通过云端提供的测试资源及先进测试工具, 促使自动化测试有序实现。

在云测试平台上, 可对自动化测试脚本配置部署, 以便对测试环境搭建维护。云测试平台提供多种测试

工具框架,支持多种编程语言及测试协议,可根据需求选择合适的测试方案。云测试平台还具有丰富的测试数据管理及报告生成功能,使测试结果分析及评估简单直观。

自动化测试可提高测试效率,降低测试成本。传统测试方式耗时费力,且易出错,自动化测试可通过预设测试脚本和规则,自动执行测试任务,并实时生成测试结果,提高测试准确性。此外,云测试技术自动化测试特性还支持持续集成及持续交付,可将自动化测试脚本集成到开发流程中,与代码提交、构建和部署等环节对接,当有新代码提交或功能更新时,自动化测试脚本会自动执行,使新代码质量及稳定性得到保证。

3 飞行试验测试系统需求分析

3.1 高可靠性要求

在硬件方面,飞行试验测试系统需采用高品质元器件,经过筛选测试,以确保其在极端温度、压力、振动等恶劣飞行环境下保持稳定。软件设计需注重算法优化及冗余设计,以提高系统容错能力与数据处理效率,在面对突发故障时,可进行自诊断并采取相应保护措施。测试系统需具备高性能数据采集卡与处理器,可实时捕捉并处理温度、压力、速度等数据,保证试验人员准确了解飞行状态,及时做出调整。系统还需支持高速数据传输,以满足实时分析需求,为飞行试验安全与效率提供保障。因航空技术不断进步,飞行试验需求也在不断变化,测试系统需支持不同类型传感器及设备,适应不同飞行试验需求,以便进行扩展升级,以满足不同的需求^[3]。

3.2 复杂性要求

从高空高速飞行到低空低速机动,从常规飞行状态到极端环境下,各场景对测试系统提出更高要求,系统需具备高度模块化和可配置性,根据具体试验需求快速调整测试方案,实现测试资源优化配置。在飞行试验中,传感器以极高频率采集如气压、温度、速度、姿态等参数,相互间存在复杂关联性。测试系统需集成先进数据处理算法,可实时解析、融合相关数据,提取关键信息,为飞行性能评估提供依据。飞行试验中的异常情况会对飞行安全构成威胁,测试系统需具备即时监测能力,能在短时间内识别出异常数据,启动预警机制,并自动执行预设的安全措施,保证试验安全进行。

3.3 多样性要求

从超声速战斗机到大型民用客机,从无人机到太

空探测器,不同类型飞行器在气动布局、动力系统、材料结构等方面存在明显差异,这对测试系统提出了多样化测量需求。系统需集成多种高精度传感器,覆盖从微弱信号捕捉到高强度冲击测试量程,以保证全面、准确捕捉飞行过程中存在的数据。飞行试验需在高温、低温、高湿、强电磁干扰等极端条件下进行,这对测试系统环境适应性及稳定性提出了较高要求。系统需采用封装技术及防护设计,使传感器与数据采集设备在恶劣环境下可正常工作,保证数据连续完整。此外,飞行试验目标涉及性能评估、安全性验证、新技术测试等方面,各目标需以不同测试方案及数据采集策略作为支撑,测试系统需支持测试配置,以根据不同试验需求快速调整测试参数,系统还需具备扩展能力,以适应新测试需求^[4]。

3.4 实时性要求

在飞行试验中,实时性要求测试系统可在极短时间内捕捉飞行姿态、速度、高度、温度、压力等数据,系统需配备高速数据采集模块,捕获传感器输出数据,保证数据时效性。系统还需具备较强数据处理能力,可数据捕获时进行滤波、去噪、校准等预处理,为数据分析提供高质量输入。测试系统需构建低延迟数据传输通道,保证采集到数据可送达地面控制站或飞行员的显示屏,实现飞行状态实时监控。系统还应采用高效通信协议,以最小化数据传输延迟及带宽占用,使数据完整性得到保证。系统还需集成先进算法,以便在数据到达时刻进行快速分析,提取关键信息,为飞行员或地面控制人员提供即时飞行状态评估、异常检测与预警,必要时给出飞行指令调整建议。

4 云测试技术在飞行试验测试系统中的应用

4.1 测试环境搭建

在飞行试验测试中,传统测试环境搭建存在硬件资源限制、环境配置复杂、维护成本高昂等问题。云测试技术通过虚拟化技术,实现测试环境快速构建部署。以某次飞行试验为例,虚拟测试客户机基于不同的硬件配置、操作系统版本及软件栈组合,可模拟出多样化测试场景,满足不同飞行试验阶段的测试需求。以处理器为例,选择 Intel Xeon Scalable 系列处理器,每台虚拟测试客户机配备 8 核 16 线程,主频达到 2.5 GHz,保证高强度计算性能^[5]。

在内存方面,每台客户机配置 32 GB DDR4 ECC 内存,为大规模数据处理与复杂算法运行提供充足的存储空间,云测试平台还支持多种网络拓扑结构,保证数据传输稳定。通过云测试平台提供还原功能,测试人员

可将虚拟机重置到指定状态,避免重复搭建测试环境。对于测试执行,云测试平台可实时监控被测试程序的行为,如注册表访问、硬盘文件读写、网络访问等,并将相关信息与测试用例展现,以便测试人员快速定位问题。因云测试环境高度可配置性与可扩展性,可根据实际需求调整测试资源,应对飞行试验中不确定性因素。

4.2 资源配置

在资源配置方面,选择基于 Intel Xeon Scalable Gold 6248 处理器的虚拟机,处理器有 20 个核心,主频高达 3.0 GHz,保证高强度计算性能。在内存方面,每台虚拟机配置 128 GB DDR4 ECC 内存,为大规模数据处理与复杂算法运行提供充足资源。此外,云测试平台还提供多种规格存储选项,测试团队选择高性能 SSD 固态硬盘,读写速度分别达到 3.5 GB/s 及 2.5 GB/s,使测试数据快速存取。

在软件资源配置上,根据飞行试验需求,快速部署 MATLAB、Simulink 等仿真软件,及 Python、R 等数据分析工具,为飞行试验的模拟与数据分析提供支持。此外,云测试平台还支持数据库系统,选择 MySQL 作为测试数据的存储与管理工具,保证数据安全性。在具体测试执行过程中,云测试平台可根据测试任务需求,动态调整资源分配。例如:在模拟复杂飞行场景时,平台可自动增加计算资源,保证模拟过程流畅进行,在数据分析阶段,平台可智能分配存储与计算资源,加速数据处理速度^[6]。

4.3 性能测试

在性能测试实施上,云测试平台可提供丰富的测试场景与负载模型,根据飞行试验的实际需求,设计高负载飞行模拟、紧急情况下的系统响应及长时间连续飞行下系统稳定性测试在内的多种测试场景。例如:在高负载飞行模拟测试中,测试集群模拟飞行系统在全速飞行、复杂气象条件下的运行情况,每秒处理数据量达到 20 TB,验证飞行系统在极端条件下的处理能力。在测试过程中,平台可实时监控并记录飞行系统的各项性能指标,例如 CPU 使用率、内存占用、磁盘 I/O 速度、网络吞吐量等数据。云测试平台还支持多版本软件的并行测试,可同时运行多个版本飞行系统软件,通过对比测试数据,快速评估不同版本之间的性能差异,为软件版本的迭代与优化提供了科学依据。

4.4 负载测试

在负载测试实施上,设计高并发请求、大数据量处理及长时间连续运行等复杂负载场景,以全面模拟

飞行系统在真实飞行中遇到的各种负载情况。例如:在高并发请求测试中,测试集群模拟飞行系统在接收到大量飞行指令时的处理情况,验证飞行系统在高并发环境下的处理能力。在测试过程中,平台可实时监控并记录飞行系统的各项性能指标,通过云测试平台提供的数据分析工具,测试团队可快速识别出系统在负载高峰期的性能不足及优化点,为系统优化提供数据支持。云测试平台还支持多版本软件的并行测试,可在同一阶段运行多个版本飞行系统软件,通过对比不同版本在相同负载下的性能表现,快速评估出最佳软件配置。云测试技术在飞行试验测试系统中的应用如表 1 所示。

表 1 云测试技术在飞行试验测试系统中的应用

应用方面	关键点
测试环境搭建	云端快速构建,虚拟化技术
资源配置	弹性扩展,按需分配
性能测试	高并发模拟,实时监控关键指标
负载测试	模拟极端负载,评估系统响应

5 结束语

在飞行试验测试系统中引入云测试技术,通过云端资源的灵活调配与高效利用,测试系统得以在更广泛、更深入维度上展开测试,保证飞行系统在极端条件下可稳定运行。在性能测试与负载测试中,云测试技术可模拟出真实飞行中遇到的各种极端情况,对飞行系统处理能力进行全面验证。云测试平台还可实时监控并记录飞行系统各项性能指标,为系统优化提供数据支持。通过云端资源的共享复用,可满足复杂的测试需求,节省测试成本,缩短测试周期,为飞行试验成功实施提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 蒋红娜,马亚平,程娟.飞行试验中直升机近地飞行安全监控测试技术[J].电子测量技术,2024,47(22):189-194.
- [2] 余宇琛,桂亮,胡存明,等.自适应增广控制频域分析与飞行试验[J].航天控制,2024,42(01):11-16.
- [3] 王霖莹,李宏,吴瑀.基于BDS/GPS融合的飞行试验航迹测试技术[J].中国测试,2024,50(01):171-177.
- [4] 马方远,高阁,杜剑英,等.常规武器靶场飞行试验测试能力构建思考[J].探测与控制学报,2023,45(04):46-50.
- [5] 朱江辉.飞机飞越噪声自由场声压级测试方法研究[J].噪声与振动控制,2023,43(04):280-287.
- [6] 张迪,李志鹏.基于云测试的飞行试验测试系统检测平台构架[J].中国科技信息,2019(15):48-49.