

引文格式: 韩冰, 杨锋, 王萍, 等. 基于 REST 架构的总装阶段飞控测试数据集成 [J]. 航空制造技术, 2021, 64(8): 14-21.

HAN Bing, YANG Feng, WANG Ping, et al. Data integration of flight control system test in final assembly phase based on REST architecture[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2021, 64(8): 14-21.

基于 REST 架构的总装阶段 飞控测试数据集成*

韩冰¹, 杨锋¹, 王萍¹, 沈佳², 孙溢², 王丽斌², 方强², 魏燕定²

(1. 中航西安飞机工业集团股份有限公司, 西安 710089;
2. 浙江大学机械工程学院, 杭州 310027)

[摘要] 为了解决总装阶段飞控系统测试过程中多源异构数据难以集成的问题, 设计并实现了一种基于表述性状态转移 (Representational state transfer, REST) 架构的多源异构数据集成服务。分析了总装阶段飞控数字化测试中多源异构数据的来源和影响, 并基于此构建了总装阶段飞控系统测试中的设备集成实验平台。基于 REST 架构对多源异构数据的集成服务进行设计, 使得不同设备具有统一的数据接口, 解决原有的多种飞控测试设备操作复杂、数据异构的问题, 实现多源异构数据的集成。以大气数据激励设备、单轴速率转台和无线电高度表激励器为例, 验证了基于 REST 架构的总装阶段飞控数字化测试中多源异构数据集成方法的有效性。

关键词: 飞控系统测试; 多源异构数据; 数字化测试; REST 架构; 以太网

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2021.08.014



韩冰
研究员级高级工程师、博士, 研究方向为航空电子。

发展航空航天产业是增强国家核心竞争力的重要战略措施, 在国家科技部的支持下, 大飞机产业正处于研究、批量化生产高交织的关键阶段。针对飞机的测试技术是保障飞机设计、研制、生产和使用维护各个阶段正常运转的重要支撑。

总装阶段飞控测试是在完成飞机总装后, 通过飞控系统运行原理与外接口, 借助测试设备进行飞控系统功能测试的过程^[1]。总装阶段的飞控测试技术发展主要经过了人工测试阶段、专用半自动/自动测试阶段、标准接口半自动/自动测试阶段、计算机与标准自动测试阶段以及虚拟仪器和标准自动测试系统阶段^[2]。

目前, 总装阶段飞控测试技术正朝着测试设备综合化、通用化、数字化、虚拟化以及设备统筹规划、集中管控、分布式布局和纵向一体化测试方向发展^[3-4]。

21 世纪以来, 随着技术的进一步发展, 各厂商研发出了许多测试效果良好的测试系统, 如欧洲宇航防务公司提出了飞机总装地面支持设备方案 (FAL GSE Project), 用于统筹整个飞机总装过程中的所有测试设备的运行, 可以完成包括飞控系统在内的多项地面测试任务。美国空军在设计 C-17 运输机的测试设备时, 分析了 C-17 的测试需求, 成功集成了当时的测试设备进行飞

* 基金项目: 中航飞机股份有限公司—“千百万基金”课题 (CC201907-00049); 国家重点研发计划项目 (2019YFB1707505)。

机测试^[5]。洛·马公司为F-35研制了LM-STAR系统,具有通用的开放式体系结构,是目前最具代表性的纵向一体化的综合测试设备。与此同时,中国广州航新也研发出了具有先进的总线技术、虚拟仿真以及综合测试等功能的航新自动试验设备(ATE)产品^[6]。中国润科通用集成测试系统采用通用化、模块化和综合化设计思想,基于分布式、网络化、可扩展的柔性测试架构进行设计,基于标准的以太网技术构建测试网络,通过测试网络实现各测试软件、测试I/O资源的交互,搭建一个软硬件模块易于扩展的集成验证环境。这些测试系统虽然具有强大的功能,但是普遍操作复杂,对老旧测试设备缺乏支持,可移植性较差,系统界面也多以客户端软件的形式呈现,升级换代成本较高,不利于扩展。国内部分飞控测试设备甚至依旧停留在上个世纪七八十年代,因此,为了在现有条件下实现总装阶段飞控系统测试的数字化改造,需要研制操作简单、能够集成老旧设备且具有较低成本的测试平台。

另一方面,在用飞控系统进行功能测试时,设备厂商通常针对单个功能需求开发专用的测试设备。然而,这些专用测试设备大多内部封闭,组件紧耦合,架构各异,数据模型也各不相同。这使得不同设备之间缺少信息交互,限制了测试设备间信息的共享和重用,从而形成了信息孤岛^[7],进一步使得总装阶段飞控数字化测试中存在大量的多源异构数据,降低了飞控系统测试的扩展性和设备间的互操作性^[8]。因此,为了实现总装阶段飞控数字化测试的可扩展性和可操作性,需要对总装阶段飞控数字化测试场景中各种传感器、激励设备、机载系统的异构数据集成进行研究。

针对上述问题,本文将对总装阶段飞控系统测试过程中的多源异构

数据集成技术展开研究,设计一种基于表述性状态转移(Representational state transfer, REST)架构的多源异构数据集成服务,用于解决总装阶段飞控系统数字化测试过程中数据的多源异构问题,为飞控系统功能程序化、数字化测试提供技术基础,并为最终实现飞控系统测试的自动化、高效化、标准化和专业化提供技术支撑。

飞控测试多源异构数据来源

在目前的总装阶段,飞控数字化测试中常用的主要测试设备有飞控地面维护设备、大气数据激励设备、无线电高度表激励器、单轴速率转台和外部测量装置等,这些设备在测试过程中放置在飞机的不同位置,并与飞机的相应测试接口连接。当需要操作这些设备时可以直接操作设备的上位机或是从这些设备预留的扩展接口进行远程修改与读取。

飞控地面维护设备是一种综合化的智能检测设备,集成了飞行控制系统计算机的检测功能,是在飞控测试过程中读取飞控计算机参数的重要设备。飞控地面维护设备由主飞控地面维护设备、高升力地面维护设备和自动飞行地面维护设备组成,分别用于检测飞控计算机的不同功能。飞控地面维护设备主要用来对飞行控制操纵系统进行飞行前自检、机上性能检测、调式及故障定位工作。

飞控地面维护设备需要连接飞控计算机的ARINC429总线、RS232和RS422接口。此外,还有离散的数字信号、模拟信号以及旋变类RVDT信号等,其连接如图1所示。

飞控地面维护设备采集到这些信息后,通过预设的格式在屏幕显示。用户也可以通过飞控地面维护设备提供的以太网、USB接口等对其进行远程控制,从而获得飞控计算机的相关数据,这也是实现总装阶段飞控数字化测试的基础之一。

大气数据激励设备是在飞控测试过程中在地面给出模拟的激励信号以测试大气数据机的功能以及其他机载设备联调测试时给出模拟数据的测试设备。该设备可以通过内置泵产生压力和真空源、静压或是高度、总压或是动压、空速,还可以模拟高度和空速,产生爬升率、空速变化率、静压变化速率、动压变化率、总压变化率、马赫数以及进行泄露测试等。本文所涉及的大气数据激励设备内置了以太网接口,支持TCP/IP协议,通过大气数据激励设备厂商定义的查询方式,可以实现远程控制。

单轴速率转台主要由一个可做回转运动的平台和固定底座组成,可以调节转动速率、加速度等,用于角速率陀螺相关的系统功能和性能检查。使用时通过工装将飞机内部的角速率陀螺仪固定在转台上,并调节不同的转速测试角速率陀螺仪的功

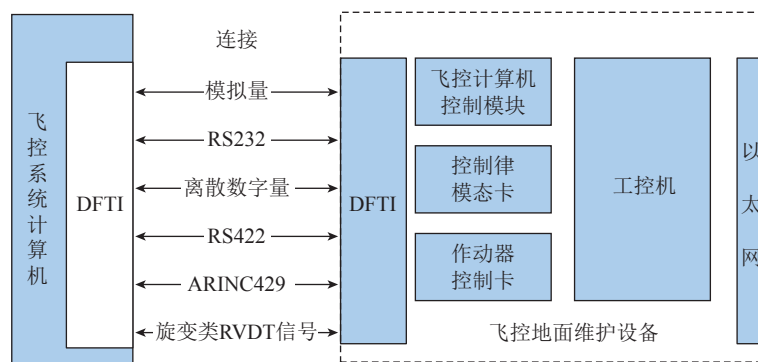


图1 飞控计算机与地面维护设备之间的连接

Fig.1 Connection between flight control computer and ground maintenance equipment

能。在飞控测试中使用的单轴速率转台具有一个 RS232 接口,通过厂商给出的协议,计算机可以对单轴速率转台进行远程控制。

在飞控测试过程中,需要对飞机机翼和舵面进行测试,以检验飞机副翼舵面、多功能扰流板、地面扰流板、前缘缝翼和后缘襟翼、升降舵、水平安定面、方向舵的功能是否满足技术要求。然后进一步检查舵面极限位置和舵面运动是否满足极性、传动以及行程等要求,该过程需要反复进行调整、检测,直至最终满足要求。外部测量装置需要在不破坏飞机原状态的基础上完成副翼、升降舵、方向舵、襟翼、缝翼、扰流板及水平安定面等众多舵面偏转角度的测量以及襟翼、缝翼 PDU 扭力杆输出圈数测量。外部测量装置的传感器测得的信号是电压、电流等电信号,这些信号无法直接利用,需要经过上位机转换后才能进行使用。

由上述介绍可知,总装阶段飞控系统的测试过程需要许多测试设备,这些不同的设备造成数据来源的不同,而且在总装阶段飞控数字化测试过程中,测试设备的数据存放在测试设备的上位机或是传感器的芯片中,这些数据按照不同的标准进行设计,造成了数据的异构,为总装阶段的飞控系统测试工作带来了大量的多源异构数据。多源异构数据的存在使得测试平台难以满足通用性要求。而将现有的测试设备淘汰进行整体更新换代,不仅成本较高而且浪费设备资源。为了兼容现有的测试设备,总装阶段飞控数字化测试需要实现各个测试设备之间的电气连接和数据交换。只有将多源异构数据进行集成,才能为总装阶段飞控数字化测试提供良好的数据基础。

设备集成试验平台构建

总装阶段飞控测试中的设备集成试验平台使用以太网作为最终的

数据传输网络,使用接口转换装置将不同设备接入以太网。

1 数据传输模式

总装阶段飞控数字化测试中多种总线共存,各种协议互不兼容的问题也是国内外设备集成厂商面临的困境之一。为了解决这个问题,需要设计接口转换装置,将接口和协议进行转化后,进行统一的输出。以太网是目前使用最广泛的一种计算机网络,可以很方便地实现网络的扩展,并且支持多种语言的开发。

本文采用以太网作为最终的传输网络,设计接口转换装置将现有的设备底层协议转换为统一的形式接入以太网,在以太网中通过 TCP/IP 协议进行数据传输。图 2 为试验平台中各设备的连接方式。

当测试设备、服务器、手持终端等都接入局域网后,所有的测试信息在局域网中传递。测试设备在现场采集的测试数据通过以太网 TCP/IP 通讯协议进行传输,服务器通过以太网 TCP/IP 发布测控命令并接收测试设备发送的数据。执行人员手持的终端需要通过网线连接进入以太网局域网。每个测控设备内部通讯细节对以太网屏蔽,所以,在进行测控时只需要关注具体的测控任务不需

要考虑测控设备内部的执行逻辑,有利于模块化的系统开发和功能扩展。

2 设备接口转换

接口转换装置芯片将不同的设备协议进行翻译转换形成以太网可传输的协议,如 TCP/IP 协议。常见的如 USB 转串口,USB 转以太网,串口转以太网等。常用接口的转换是一种较为成熟的技术,因此,大多数的接口转换仅需要寻找合适的产品即可,对于一些自定义的接口,则需要自行开发接口转换装置。例如,对于无法转换成 TCP/IP 协议的总线接口,可通过特定总线的板卡接入节点工控机中,工控机运行自定义的程序,该程序是根据具体通讯协议对设备数据进行解析并包装为 TCP/IP 数据包的客户端程序。因此,该工控机也可以称为适配器。

接口进行改造后,设备得以接入以太网,其连接方式如图 3 所示。飞控地面维护设备、无线电高度表激励器、大气数据激励设备都有以太网接口。但是单轴速率转台在设计之初就没有预留以太网接口而只有 RS232 串口,因此,需要添加一个串口转以太网的装置完成接口的转换。外部测量装置的传感器都是电信号,需要通过电信号转以太网的装置才

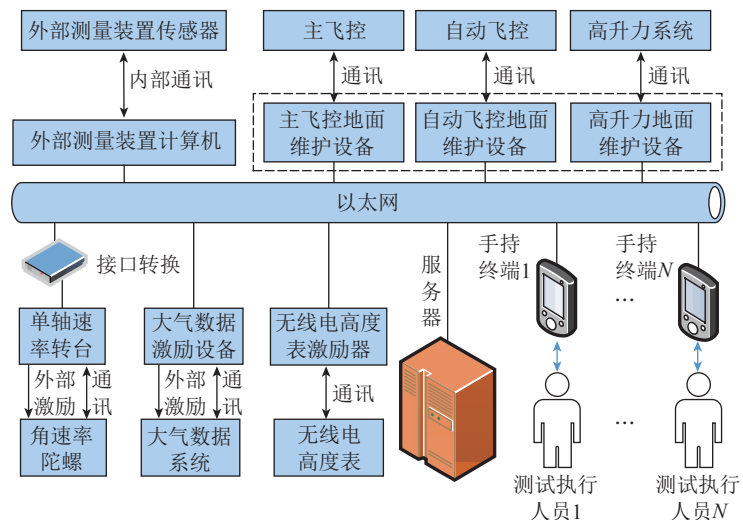


图 2 试验平台电气连接

Fig.2 Electrical connection of test platform

能接入以太网。

基于 REST 架构的多源异构数据集成服务设计

REST 架构,是由 Fielding Roy 博士提出的一种分布式软件架构风格。它是一种面向资源的软件架构。REST 架构对不同系统具有极好的兼容性,具有平台无关的特性,对老旧设备有着很强的可访问性和互操作性,使得 REST 架构成为老旧设备改造的一种优选架构^[9-12]。

对多源异构数据集成进行分层设计,设备数据视图层是完成多源异构数据集成后的直观成果,也是完成多源异构数据集成的基础目标。而设备数据视图层下又分为应用层、中

间层、包装层和设备/数据源层4层,每一层都对相邻层暴露接口,图4为基于 REST 架构的多源异构数据集成的整体设计。

1 设备数据视图层

设备数据视图层是多源异构数据集成服务对外的视图,服务请求者可以根据 REST 风格的 HTTP 请求向设备数据视图层请求资源,并接收 JSON 格式的返回值。对于服务请求者来说虽然设备的数据在物理上依旧保存在各个设备内部,但是通过虚拟的设备数据视图层,就和向一张统一的数据表请求数据一样。总装阶段飞控数字化测试过程中,如果步骤需要设备参与,服务器就会对设备数据视图层进行操作,设备数据视图层

将会按照 REST 的风格发送 HTTP 请求给应用层。

1.1 设备数据视图层 URI 设计

根据 REST 架构的定义,需要设计统一形式的资源 URI 以实现通过 REST 形式的 HTTP 请求对设备进行操作,资源 URI 的统一形式可以设计为: `http://{IP 地址}:{端口号}/device/{设备位置}/{数据类型}/{设备类别}/{资源名称}?param={值}`,其中, {IP 地址}、{端口号} 为多源异构数据集成服务的 IP 地址和端口号; {设备位置} 为配置文件中定义的设备放置位置,一般以 locationX 的形式给出, X 为地址索引号; {数据类型} 分为激励数据、外部数据和内部数据 3 种,分别用 incentive, external, internal 表示; {设备类别} 为设备的接口名称,将驼峰命名的大写字母转化为“_”+小写字母的形式,如 atmosphericDataIncentive, 转化为 atmospheric_data_incentive; {资源名称} 为所定义的资源名称,如 air_height, air_speed, air_mach 等; {值} 根据需求填写相应的数值。依据 REST 风格,可以将请求划分成 4 类,如表 1 所示。

当服务器需要修改大气数据激励设备的某个参数时,如要修改位于“location1”位置,设备类型为“大气数据激励设备”的设备的激励高度为 100m,可以使用 PUT 方式发送 HTTP 请求,其 URI 可设计为: `http://xxxxxx:xx/device/locationX/incentive/atmospheric_data_incentive/air_height?param=100`。

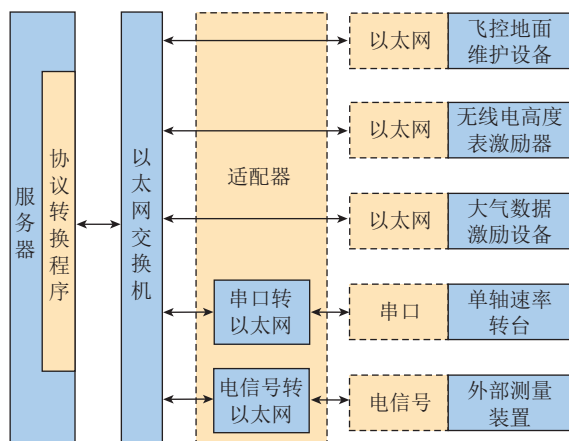


图3 设备连接设计
Fig.3 Device connection design

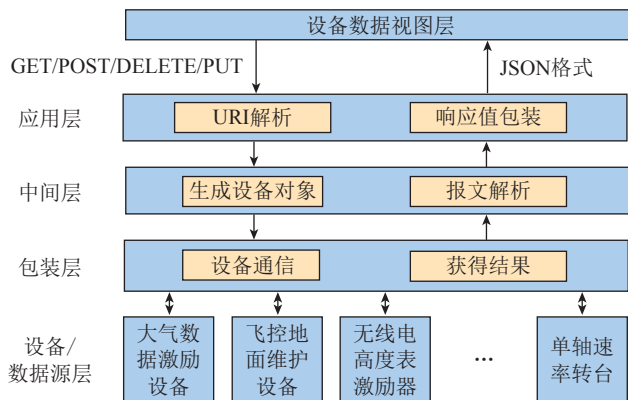


图4 基于 REST 架构的多源异构数据集成整体设计
Fig.4 Overall design of multi-source heterogeneous data integration based on REST architecture

表 1 REST 请求方式
Table 1 REST request

请求类型	请求方式
查询设备资源	GET
修改设备资源	PUT
添加设备资源	POST
删除设备资源	DELETE

当服务器需要查询大气数据激励设备的某个参数时,如要查询位于“location1”位置的,设备类型为“大气数据激励设备”的设备的激励高度,可以使用GET方式发送HTTP请求,其URI可设计为: `http://xxxxxx:xx/device/locationX/incentive/atmospheric_data_incentive/air_height`。

1.2 面向设备应用层 URI 设计

为了简化开发,设备应用层处理的URI与设备数据视图层的URI有所不同。设备数据视图层面向的是所有的设备,是多源异构数据集成后的视图,而应用层的作用则是将设备的数据传输方式进行统一,面向单个设备,处于更低的层次。

应用层处理的URI与设备数据视图层处理的URI相比没有“/device/{设备位置}/{数据类型}”前缀,其形式为: `http://{IP地址}:{端口号}/{设备类别}/{资源名称}?param={值}`。

因此,在对设备资源进行抽象时不用考虑设备的放置位置和数据类型,而是将这部分的内容交给设备数据视图层来决定。依旧以上述的设置和读取大气数据激励设备的激励高度为例,与设备数据视图层的URI不同,应用层采用PUT方式发送请求,设置大气数据激励设备的高度激励URI设计为: `http://yyyy:yy/atmospheric_data_incentive/air_height?param=100`。

而读取大气数据激励高度采用GET方式发送请求,其URI设计为: `http://yyyy:yy/atmospheric_data_incentive/air_height`。其中,yyyy:yy为上述location1位置的大气数据激励设备的IP和端口。可以看出应用层不关心设备数据视图层对设备资源的定义,而是为设备所具有的资源设置好各自的统一资源标识符即可。不同URI的设计使得在进行设备应用层开发的时候可以只关注单独的

设备,提供底层的服,而在设备数据视图层开发时才对不同设备资源进行链接设计。由于设备使用了统一的URI格式,可以很方便地定位所需的设备资源,即使两台设备完全一样,只是放置的位置不同也可以通过IP地址端口进行区分。

使用不同URI的另一个好处是,有利于扩展开放,未来加入新的测试设备时,设计中只需要按照REST架构进行设计,不论使用了何种接口何种协议,只要预留了REST的应用程序接口即可实现快速接入和跨平台使用。

2 应用层

应用层是与设备数据视图层直接交互的一层,通过接收REST风格的HTTP请求进行测试意图的分析,并返回结果。应用层和设备数据视图层一样,需要实现HTTP请求的解析和响应值的包装两大功能。应用层解析HTTP请求方式和URI,然后进行资源定位,明确操作意图,接着调用中间层的方法控制测试设备,最后将返回值反映到设备数据视图层上。

3 中间层

中间层用于实现对设备的操作,可以根据应用层传入的资源信息、操作方式等参数,通过java的反射机制动态生成设备对象,之后根据需求调用包装层的方法,最后返回所求资源。中间层是应用层和包装层之间的桥梁,向上提供统一的调用接口,向下屏蔽底层调用细节。中间层获得的数据属于多源异构数据,需要经过数据映射,转化成统一的JSON数

据格式后返回应用层。

使用java的反射机制可以在运行时动态地创建实例对象。新设备加入时不需要修改源代码,只需要增加新的实现类,然后更新配置即可,提高了系统的扩展性和稳定性。以大气数据激励设备、无线电高度表激励器和单轴速率转台为例,根据测试需求进行设备种类的抽象,如表2所示。

抽象工厂模式是23种设计模式中的创建型设计模式之一。抽象工厂类根据需求生成相应的设备工厂,然后根据设备型号和配置文件扫描对应的实现类通过反射生成实例对象。设备对象封装了实现测试所需的所有功能,系统调用相应的方法与测试设备通讯,并接收返回值来判断是否进行下一步测试。Java的反射机制可以动态生成实例对象,但是具体生成什么对象,何时生成对象,如何生成对象就需要查询配置文件动态生成。

当应用层将设备类型、设备型号、目标参数、操作、目标值等传入中间层后,服务查询配置文件找到对应的设备类型的工厂类和接口实现类的全限定名,基于反射机制动态生成设备对象后,就可以与设备进行通信,实现设备的控制。这样的好处是当需要更换、添加、升级设备时,只需要添加新的实现类,然后在配置文件中写入映射,不必修改系统的源码。

中间层还负责与Mysql数据库的交互,将表征具体意义的设备数据存储至相应数据表中。数据库的核心数据表为device_category、device_

表2 部分设备接口表
Table 2 Partial equipment interface table

设备种类	设备接口抽象	设备功能描述
大气数据激励设备	Atmospheric data incentive	给予大气数据激励信号
无线电高度表激励器	Radio altimeter	给予无线电高度信号
单轴速率转台	Rate turntable	给予陀螺仪激励

command 以及 device, 其中, device_category 表用于存储设备类型, 不同的设备类型具有不同的设备指令; device_command 表用于存储设备指令, 一条记录对应一条设备指令, 也就对应 REST 风格的 URI; device 表用于存储具体设备信息, 包括设备 IP 和端口号等。

4 包装层

包装层的作用是对设备的通讯接口做一次封装, 将原先各不相同的底层协议进行封装, 转化为 TCP/IP 协议, 使设备具有统一的数据传输方式。

以 RS232 和以太网的转换为例, 本文选用了 USR-TCP232-306 串口服务器 N520, 如图 5 所示, 该串口服务器支持 600bps~230.4Kbps 波特率范围, 支持硬件流控 (RTS/CTS) 和软件流控 (XON/XOFF), 可将串口数据灵活分帧。将设备的串口和服务器的以太网口进行连接, 串口服务器工作在 TCP server 模式。经过设备接口改造后, 所有的接口都转换成了以太网接口, 服务器和设备使用 TCP/IP 协议在局域网进行通讯。

5 设备 / 数据源层

设备 / 数据源层与测试设备相关联, 是测试数据的来源, 必须要使用测试设备各自的通讯、查询、调用格式才能进行访问。

应用实例

多源异构数据集成服务是总装阶段飞控数字化测试的数据基础。总装阶段飞控数字化测试的服务器通过发送 REST 风格的 HTTP 请求获得所需的数据。为了便于试验, 设计了多源异构数据集成测试界面, 用于测试服务器向多源异构数据集成服务发送指令, 以此验证多源异构数据集成服务的功能。

1 设备数据源采集

为了检验多源异构数据集成服务是否可以实现对外提供统一的访

问接口, 实现对不同设备的相同访问方式控制, 本文测试了飞控系统现场测试中常用的 3 个设备大气数据激励设备、无线电高度表激励器以及单轴速率转台的通讯, 将 3 个设备作为多源异构数据的数据源。

大气数据激励设备采用意大利 DMA 公司的 MPS45, 如图 6 所示; 无线电高度表激励器型号为 WGJ-1。两种设备前面板均提供以太网 RJ45 接口, 网络通信遵守 TCP/IP 协议。单轴速率转台提供 RS232 串口, 由架构中的包装层进行协议封装, 利用串口服务器, 转化为以太网接口以及 TCP/IP 协议。

首先需要配置设备 IP 及端口, 将大气数据激励设备、无线电高度表



图 5 串口服务器
Fig.5 Serial server



图 6 大气数据激励设备
Fig.6 Atmospheric data incentive

表 3 设备 IP 及端口
Table 3 Equipment's IP and port

设备种类	IP	Port
大气数据激励设备	192.168.0.32	4040
无线电高度表激励器	192.168.0.31	1024
单轴速率转台	192.168.0.7	20001

激励器、单轴速率转台与服务器、路由器、交换机, 通过网线接入局域网并连入同一网段, 如表 3 所示。3 种设备会作为服务端监听其绑定的端口, 等待客户端的连接请求。

2 测试设备控制验证

2.1 现有资源请求

在请求设备现有资源时, 3 种设备在设备数据视图层的方法类似, 因此, 以大气数据激励设备为例, 对大气数据激励设备的“马赫数”这一资源, 即“air_mach”进行操作。使用“多源异构数据集成测试界面”进行测试, 如图 7 所示。

图 7 中的设备指令代表着设置马赫数的操作, 点击按钮即可设置, 程序在后台根据 REST 风格进行 URI 的设计, 搜索配置文件可以得到设备放置在“location1”, URI 设计如下, 并使用 PUT 方式对设备数据视图层进行 HTTP 请求: http://192.168.0.101:8081/device/location1/incentive/atmospheric_data_incentive/air_mach?param=5。

设置完成后, 可以看到对应设备指令的返回值。由于现有资源可以

直接获得,所以,可以直接显示所请求资源的值,比如设置马赫数,返回了响应的实际值 0.4。在 URI 中 192.168.0.101:8081 为多源异构数据集成服务所在计算机的 IP 与端口。

由此可见,整个试验平台的数据交换畅通,每一层都按照设计进行了数据处理,对于那些现有资源,请求资源后将资源按照 JSON 形式封装后即可直接获得。试验结果中的响应也满足这一要求,现有资源请求功能符合预期。

2.2 逻辑资源请求

每个现有资源存在于单一设备中,设备数据视图层在解析后调用相应的应用层 URI 获得其响应即可,但是对于逻辑资源来说就需要返回所有链接的资源。在完成对现有资源请求的验证后,验证设备数据视图层的逻辑资源请求功能。与现有资源不同,逻辑资源由多个现有资源链接而成。以测试设备可用状态资源请求为例,如图 8 所示。

程序根据 REST 风格进行 URI 设计,并使用 GET 方式发送 HTTP 请求,该 URI 指向的是逻辑资源,所以,返回值应当是当前所有设备的可用状态: <http://192.168.0.101:8081/device/all/all/all/status>。

从图 8 中可知,3 种设备都处于可用状态。仅接入了激励数据源,连接的设备有大气数据激励设备、无线电高度表激励器和单轴速率转台。因此,返回的数据中仅有 3 种设备的上电状态,符合试验给出的条件,逻辑资源请求符合预期。

经过对现有资源和逻辑资源的请求试验,验证了本文采用多源异构数据集成服务实现总装阶段飞控数字化测试中不同测试设备的多源异构数据集成的方法,使得总装阶段飞控数字化测试中可以方便地使用统一接口进行设备数据的操作。



图 7 大气数据激励设备资源测试页面

Fig.7 Atmospheric data incentive equipment resource test page

首页 / 测试设备 / 设备列表									
刷新 检索条件									
<input type="checkbox"/>	操作	配置	设备类型	设备序列号	设备描述	设备状态	有效截至日期		
<input type="checkbox"/>	详情	停用	修改	解邦	大气数据激励设备	001	dqj001	可用	2021-10-13
<input type="checkbox"/>	详情	停用	修改	解邦	无线电高度激励设备	001	高度表001	可用	2021-10-05
<input type="checkbox"/>	详情	停用	修改	解邦	转台	001	zt001	可用	2021-10-13

总计: 3 每页: 10

图 8 设备资源测试页面

Fig.8 Device resource test page

结论

本文面向飞机自动测试需求,针对现有总装阶段飞控系统测试设备所存在的多源异构数据集成问题,在对现有设备的研究和测试流程总结归纳的基础上,构建了总装阶段飞控数字化测试中的多源异构数据集成试验平台,设计了基于 REST 架构的多源异构数据集成服务,并最终通过对大气数据激励设备、单轴速率转台和无线电高度表激励器的数据集成服务设计,验证了本文所提出的基于 REST 架构的总装阶段飞控数字化测试中多源异构数据集成方法的有效性。

参考文献

[1] 范军华. 飞机飞控集成测试关键技术研究[J]. 中国新技术新产品, 2019(11): 17-18.
FAN Junhua. Research on key technology of aircraft flight control integrated test[J]. China

New Technologies and New Products, 2019(11): 17-18.

[2] 鲁华杰, 张建, 王亚宁, 等. 自动测试技术和设备现状及发展趋势[J]. 海峡科技与产业, 2017(12): 63-64, 67.

LU Huajie, ZHANG Jian, WANG Yaning, et al. Present situation and development trend of automatic test technology and equipment[J]. Technology and Industry Across the Strait, 2017(12): 63-64, 67.

[3] 周虎. 某自动飞控测试系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.

ZHOU Hu. One testing equipment designing technique of automatic fly control system[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2014.

[4] ALSAYED S, PLATAAC J, MUMA M, et al. Node-specific diffusion LMS-based distributed detection over adaptive networks[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2018, 66(3): 682-697.

[5] SIDHWA F, BOTHELLO P. C-17 successful application of existing automatic test equipment[J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 1995, 10(3): 29-34.

[6] 刘福军, 蔡德咏, 孟晨, 等. 下一代自动测试系统体系结构研究进展[J]. 计算机

测量与控制, 2015, 23(2): 339-341.

LIU Fujun, CAI Deyong, MENG Chen, et al. Research progress of next generation automatic test system architecture[J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(2): 339-341.

[7] 吴岳辛. 物联网异构环境互操作关键技术研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2017.

WU Yuexin. Research on the key technologies of heterogeneous environment interoperability in internet of things[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2017.

[8] AHLGREN B, HIDELELL M, NGAI E C H. Internet of things for smart cities:

Interoperability and open data[J]. IEEE Internet Computing, 2016, 20(6): 52-56.

[9] XU X, YE X, ZHU L, et al. Role network model-based support for RESTful business processes[J]. Data & Knowledge Engineering, 2014, 94: 38-64.

[10] KENNER S, THALER R, KUCERA M, et al. Comparison of smart grid architectures for monitoring and analyzing power grid data via Modbus and REST[J]. EURASIP Journal on Embedded Systems, 2016, 2017(1): 1-13.

[11] SATIT K, SOMJIT A. RESTful economic-ADS model for cost-effective

chain-wide traceability system-based cloud computing[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 139: 164-179.

[12] ECHEVERRIA R R, MACIAS F, PAVON V M, et al. Legacy web application modernization by generating a REST service layer[J]. IEEE Latin America Transactions. 2015, 13(7): 2379-2383.

通讯作者: 方强, 研究员、博士、博士生导师, 主要研究方向为飞机数字化装配系统与控制技术、运动控制技术、鲁棒控制等, E-mail: fangqiang@zju.edu.cn。

Data Integration of Flight Control System Test in Final Assembly Phase Based on REST Architecture

HAN Bing¹, YANG Feng¹, WANG Ping¹, SHEN Jia², SUN Yi², WANG Libin²,
FANG Qiang², WEI Yanding²

(1. AVIC Xi'an Aircraft Industry Group Company Ltd., Xi'an 710089, China;

2. School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

[ABSTRACT] In order to solve the problem that multi-source heterogeneous (MSH) data is difficult to integrate during the flight control system test process in final assembly stage, a MSH data integration service based on representational state transfer (REST) architecture is designed and implemented. First, the source and influence of MSH data in the flight control digital test in final assembly stage are analyzed, and based on this, the equipment integration experiment platform for the flight control system test in final assembly stage is constructed. Based on the REST architecture, the integration service of MSH data has been designed, so that different devices have a unified data interface, the problems of complex operation and data heterogeneity of the flight control test equipment are solved, and MSH data integration is realized. Finally, taking air data test set, single-axis rate turntable and radio altimeter exciters as examples, the effectiveness of the MSH data integration method in the digital test of the flight control in final assembly stage based on REST architecture is verified.

Keywords: Flight control system test; Multi-source heterogeneous data; Digital test; REST architecture; Ethernet

(责编 大漠)