

综合试验数据管理系统的功能设计与实现

Functional Design and Implementation of Comprehensive Test Data Management System

方焕辉 李翔宇 张志瑶 陈缙索

Huanhui Fang Xiangyu Li Zhiyao Zhang Tiying Chen

北京航天自动控制研究所 中国·北京 100854

Beijing Institute of Aerospace Automatic Control, Beijing, 100854, China

摘要: 随着数据技术、智能制造的发展,在企业生产和经营管理过程中,依靠数据发现问题、分析问题、解决问题、跟踪问题的数据化管理方式日益受到重视,在激烈的市场竞争中传统企业的数字化转型势在必行。航天企业科研生产具有“多品种、小批量”的行业特点,同时面临着保成功、保交付、保增长的严峻形势,企业内外部环境更加复杂。论文针对航天领域综合试验数据管理的需求,提出了一种试验数据管理系统的功能设计和实现方案,对各类试验数据进行集中管理和分析。

Abstract: With the development of data technology and intelligent manufacturing, in the process of enterprise production and management, relying on data to find problems, analyze problems, solve problems, track problems of data management has been increasingly valued. In the fierce market competition, the digital transformation of traditional enterprises is imperative. The scientific research and production of space enterprises are characterized by “multiple varieties and small batches”. At the same time, they are faced with the severe situation of ensuring success, delivery and growth, and the internal and external environment of the enterprises is more complex. Aiming at the requirements of comprehensive test data management in space field, this paper proposes a functional design and implementation scheme of a test data management system, which centrally manages and analyzes all kinds of test data.

关键词: 综合试验; 数据管理; 功能设计

Keywords: comprehensive test; data management; functional design

DOI: 10.12346/csai.v1i3.7755

1 引言

近年来,伴随航天事业的快速发展,试验设备产生的数据量呈几何方式增长,在各类试验的过程中,产生了大量宝贵的图像、视频数据和试验测试数据。这些数据分散保存在各个检测设备终端,没有系统的查询的方式,对于图像数据的利用及整理造成很大的障碍^[1]。按照数据驱动的理念研发试验数据管理系统,可以将试验过程中各种产品配套及测试数据、视频、图像数据科学、有序管理起来,实现产品配套管理和数据分析处理工作,有效提升对数据存储,多维度查询、统计的效率,确保试验质量和科研进度。

2 需求分析

2.1 数据流分析

试验数据的产生主要有五个来源:一是传统的综合试验和集成测试产生的原始数据,该部分数据主要存放在测试计算机中;二是试验和测试过程产生的过程控制数据,主要来源于记录仪和移动终端等设备,最终将数据导入至服务端;三是视频监控产生的多媒体记录数据;四是试验用品的临时存储数据,包括智能货柜中存储的用品储存信息,人员信息等;五是过程检验产生的数据,如检验台录入的产品检验表单信息、检验图片等数据。试验数据管理系统需要将所有试验数据导入,并实现对试验数据的管理和访问。

【作者简介】方焕辉(1981-),男,中国黑龙江北安人,硕士,高级工程师,从事控制系统研究。

2.2 功能需求

2.2.1 系统试验数据管理

系统试验数据管理主要来源于项目系统试验数据,一般属于结构化与非结构化数据结合的构成形式,采用结构化数据的关系数据库存储方式,以及非结构化数据的文件系统存储方式相结合的方式进行存储^[2]。支持数据的批量导入和下载、数据检索、数据多维度展示、数据可视化分析、对比分析等基本功能。

2.2.2 视频监控数据管理

试验室配备多路高清摄像头,每路摄像头每天大约存放10个小时的监控数据,数据保留3个月,支持将视频数据进行抓取、播放、编辑、下载、检索等功能。

2.2.3 试验过程数据管理

收集记录仪采集的测试数据,如波形、电压、电流等,主要是图片类型数据(BMP),进行归档存储,支持数据的检索、查看、编辑、下载等功能,支持生成定制化表单。

2.2.4 产品检验数据管理

在检验台中部署检验数据管理系统对入所产品进行检验,将产品名称、代号、检验图片、是否合格等信息录入检验数据管理系统,并形成定制化表单。

2.2.5 试验用品数据管理

试验用品存放在智能货柜中,能够实现对试验用户的智能化管理,记录试验用品的使用情况,日常存取需通过智能管理软件进行授权认证,认证方式包括密码认证、人脸识别认证、智能卡认证、指纹识别认证等。

2.2.6 统计分析管理

支持对数据按照不同的维度进行统计分析,支持自定义试验数据的对比分析功能(如同一产品、同一项目在不同阶段的试验数据或者不同产品不同项目相类似的试验参数自定义),提供多维度的数据报表并以图形化的方式展示出来,支持比对结果导出功能。

3 重点功能设计

3.1 多媒体数据自动监测判读

3.1.1 检验图像数据分析

根据航天控制系统检验图像的特征,设计和搭建合适卷积层数的神经网络模型,其中包括语义分割模型,划痕特征识别模型,接插件弯针断针判别模型。

通过航天控制系统检验采集的图像,配合旋转增量的方法,获得足够的数据集。并对数据集中的部分图片通过噪声增强算法,增加图像的噪点。再将处理过的照片进行标注,获得样本量足够大、样本噪声足够多的数据集,并以此训练模型,保障模型识别的准确性与抗噪性。

根据航天控制系统检验图像的特征,设计开发出合适的图像预处理算法,来降低外界因素如光线强度、阴影、过曝光点对图像的影响,改善图像的质量,突出图像的特征,并

通过语义分割模型将图像中的目标分割出来。并将分割出来的图像输入给划痕特征识别模型,如识别到划痕特征,模型将在图像上标注出划痕;分割后的图片也会传递到接插件弯针断针判别模型,当识别到存在弯针、断针时,在图像中添加标注出弯针、断针。在识别过程中发生的所有异常,都可实时通知到检验人员;所有识别的过程都可形成历史数据,可在局域网内查看。

3.1.2 关键动作多媒体数据分析

根据视频文件特征,搭建适当层数卷积的神经网络模型,其中包括对象特征识别模型、轨迹对比模型等,并通过标注采集到的视频文件获得训练模型的数据集。

在伺服作动器前端与惯性器件表面粘贴发光或反光标志物,作为轨迹识别标记。对采集上的视频根据帧数拆解成图像集合,并对拆解的图片进行预处理。通过对象识别模型可以计算出标记在成像区域内的二维坐标与方向;通过计算每帧图像中的坐标可以得到伺服作动器运行轨迹与惯性器件转动方向;通过与既定运动轨迹和转动方向对比计算,可以实现对关键器件运动的正确性的判断。如判断为运动轨迹不正确,实时在交互界面报警。所有判定结果与记录都可在局域网内查看。解决目前主要依赖试验人员直接进行观测,可靠性较低,且不能留下过程记录数据的问题。

3.2 数据自动判读、分析

数据自动判读系统按照模块化的设计思想,从用户实际需求出发分为三种判读模式:快速判读、异常诊断、详细判读。

快速判读模式下,顺序执行数据读入、预处理、自动判读、生成报告的功能,最终生成自动判读报告。详细判读模式下,可以按照分系统进行判读,包括原始数据查看、曲线查看对比、判读结果查看、数据读入、数据预处理、自动判读、异常参数收集等功能,便于设计人员排故分析。异常诊断模式,直接生成异常诊断报告。

按照将设计人员判读经验数量化、模块化的思路建立判读规则库。根据不同的判读数据类型将判读规则库分为四个子函数库:预处理函数库、数字量判读函数库、趋势判读函数库、关联参数判读函数库。

其中预处理子函数库包括数据预处理的规则、公式;数字量判读子函数库包含数字量参数判读规则、理论值等信息;参数趋势判读子函数库包含趋势参数理论曲线拟合规则、判断异常规则等信息;关联参数判读子函数库包含关联参数一致性判断规则等。

按照参数的类型自动判读分为三类,数字量判读、趋势参数判读、关联参数判读,判读流程如图1所示。

①数据预处理。

数据预处理包括,数据格式转换、数据截断、数据插值、跳点剔除、时间对齐、空间坐标变换等。

②理论值条件判读。

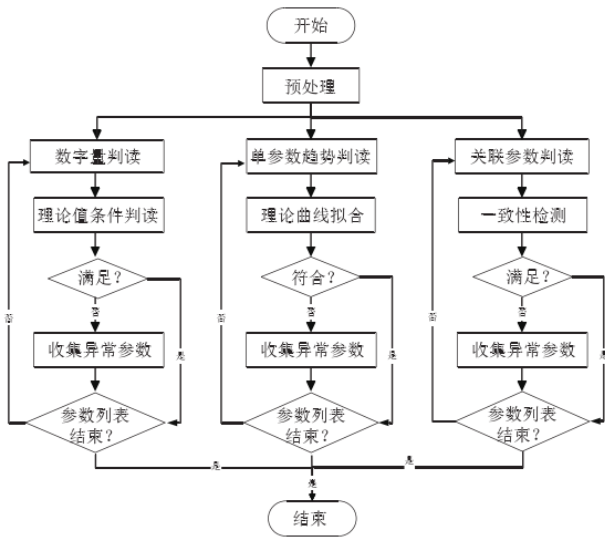


图 1 参数判读流程

数字量的判读是按照参数的理论值，通过 $x=a$ 的条件规则进行判读，心跳字按照判断每一时刻的数值与前一时刻的差值是否为 1，以此确认是否有丢包。

③理论曲线拟合。

单参数趋势判读是自动判读的难点之一，采用曲线拟合的思路，利用抗差最小二乘估计算法，依据历史数据拟合出一条参数理论曲线，进而判断目标数据是否异常。

④一致性检测。

关联参数的判读是通过参数曲线间一致性判断计算关联系数进行判读。

通过判读软件的系统性开发，有助于提高各项目试验结

果数据的一致性，便于各项目数据的横向比对，基于 Python 环境的软件开发，可以充分发挥 Python“胶水语言”的特点，便于向上层系统进行嵌入。同时自动判读软件的应用可以大幅判读工作的自动化程度，降低人对于判读工作的影响，提升判读的准确性，提高数据判读过程的质量控制能力。

3.3 历史数据分析比对

考虑到控制系统产品物理结构层次复杂与测试数据来源多样的实际特点，针对当前控制系统数据利用率低、质量状态评估能力弱的问题，开展关键参数深度分析研究，以数据驱动技术，加强对产品质量的分析深度。

首先对选取可以表征控制系统运行正确性与稳定性的关键参数，可以通过故障模式及影响分析 (FMEA) 故障树分析 (FTA) 等质量与可靠性工程方法识别控制系统关键特性。进一步利用控制图的方法，控制上下限即 $\pm 3\sigma$ 线近似为实测参数统计结果的数据包络线，需要从历史正常试验数据中挖掘阈值信息，完成试验数据上下限阈值构建，支持基于重要参数的异常状态监测，而有效解决传统异常监测方法与阈值构建方法中，对专家知识的依赖问题、大量试验参数分析处理效率低下问题。有效提高参数阈值的合理性，减少控制系统在状态监测过程中虚报漏报情况的发生。

4 系统实现

4.1 功能结构

试验数据驱动主要是收集各个试验环节中产生的数据进行整理归纳形成数据仓库，便于对试验进行管理，支持对试验数据判读、检索、可视化、历史数据回溯等功能，为试验分析提供各种数据支撑，其功能结构如图 2 所示。

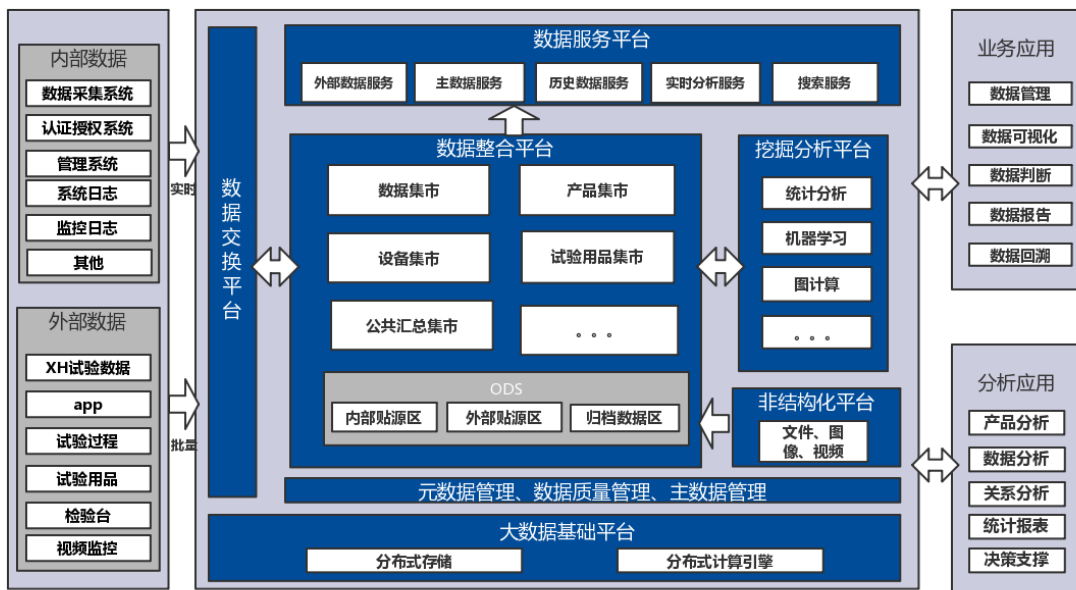


图 2 系统功能架构

4.2 总体架构

总体架构设计将以系统功能设计为蓝本进行自顶向下整体设计，在基础数据服务能力进行设计，目标则是在于能够支撑当前总体目标基础上并能够符合未来数据的发展需要，根据总体方案中不同实施阶段对总体架构内系统或组件进行逐步实现，随着数据驱动项目管理系统功能的逐渐完善，最终形成面向试验全面、科学的智能管理与分析决策平台，总体架构如图 3 所示。

系统总体框架面向整个试验全流程生命周期的数据管理，借助大数据存储、大数据分析等技术，围绕产品质量管理和提升，协同集成各个业务信息化系统，通过抽取试验数据管理系统的数据库，形成试验的知识和经验仓库，为数据综合应用分析决策环节提供全过程数据支持，支撑设计到生产、部分到总体的数据流动，并提供试验数据统计分析服务，提高试验各阶段自动化控制能力。

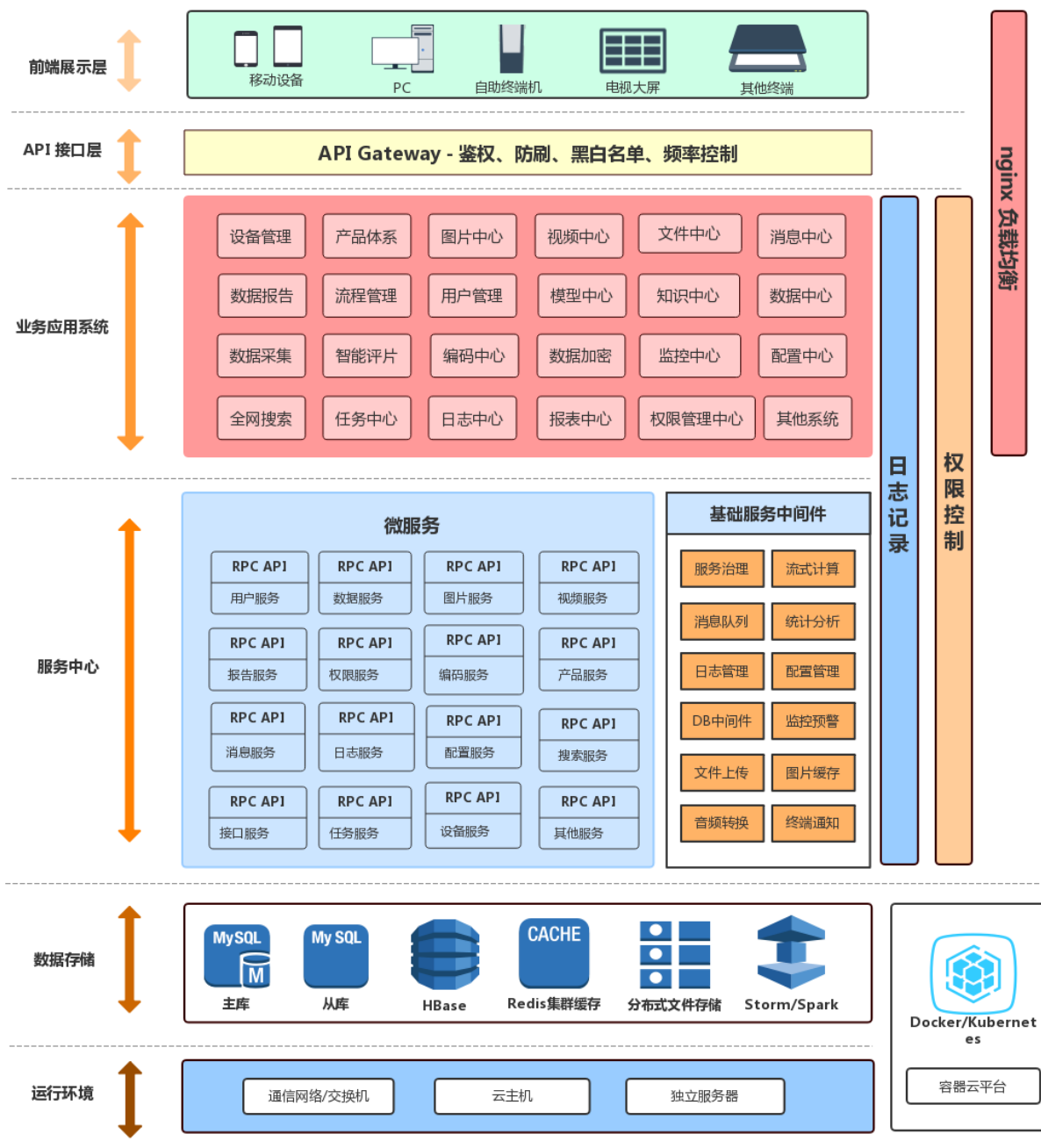


图 3 系统总体架构

4.3 技术架构

为满足能够对试验数据的海量、异构数据的存储与分析能力，本系统在技术选型上选用成熟稳定的大数据架构，使得整个质量大数据平台拥有可靠的、可持续发展能力，整体技术架构如图 4 所示。

技术层面上将本平台架构分成数据服务层、业务支撑层、业务应用层以及展现层，每层技术选型根据实际需要进行配备，具体如下：

①数据服务层。

数据服务层主要负责数据的采集、处理、存储、分析、管理以及上层提供数据支撑服务。

②业务支撑层。

业务支撑层是中间件集合为业务应用系统提供应用能力支撑，其中包含数据采集与交换、应用能力集合（如图像处理服务组件、通信组件）BI 商业智能、Work Flow 工作流引擎等。

③业务应用层。

主要基于业界流行稳定的 Spring 技术栈进行开发相关应用系统，其中主要基于一系列框架有序集合的 Spring Cloud。使用集合中的 Spring Boot 的开发便利性巧妙地简化了分布式系统基础设施的开发，如服务发现注册、配置中心、消息总线、负载均衡、断路器、数据监控等，都可以用 Spring Boot 的开发风格做到一键启动和部署。Spring 并没有重复制造轮子，它只是将目前各家公司开发的比较成熟、经得起实际考验的服务框架组合起来，通过 Spring Boot 风格进行再封装屏蔽掉了复杂的配置和实现原理，最终给开发者留出了一套简单易懂、易部署和易维护的分布式系统开发工具包^[3]。

④表现层。

表现层根据用户环境提供 Web（Vue.js）、Windows Form 应用程序等形式，从而满足不同的应用场景采用合适的技术，为用户提供方便快捷，简单易用的软件系统平台。

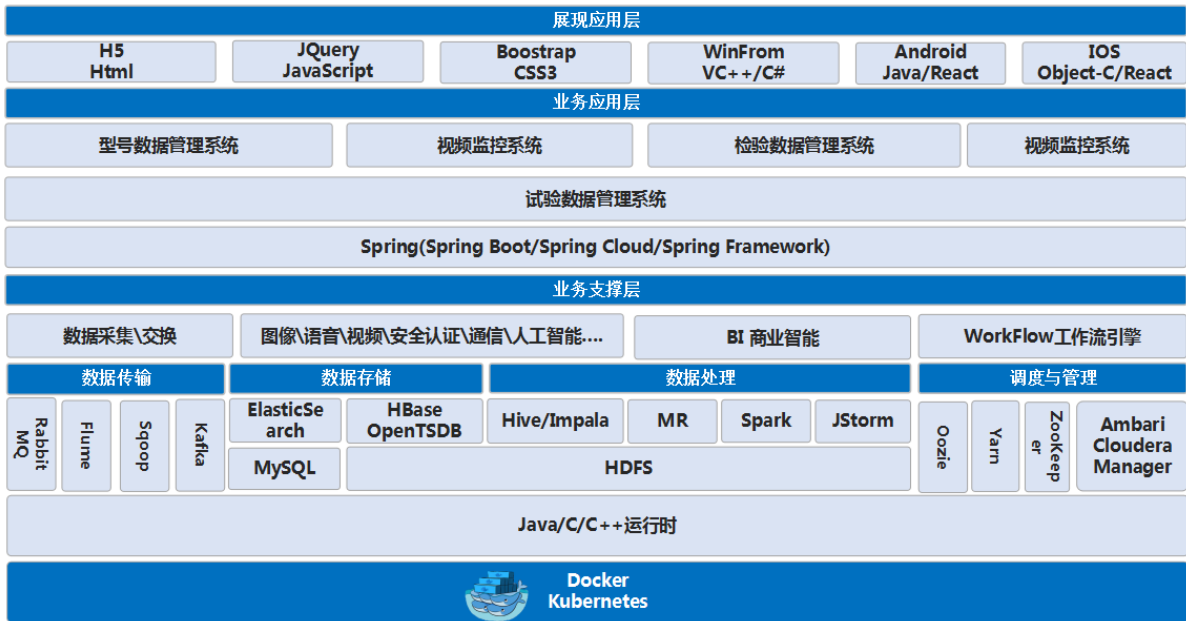


图 4 系统技术架构

5 结语

论文提出了一种针对航天领域综合试验数据管理需求的试验数据管理系统功能设计和实现方案，对系统试验数据、视频监控数据、试验过程数据、产品检验数据、试验用品数据等各类试验数据进行集中管理，并对系统测试数据、视频监控和检验数据进行分析比对。实现了数据在服务终端的管理、检索、判读、分析、下载、存储、可视化、历史数据回溯等功能，为科研生产任务管理和试验结果分析提供各

种数据支撑。

参考文献

[1] 李一,冯楠,谭顺成.基于云的装备试验数据中心架构设计[J].海军航空工程学院学报,2019,34(2):217-222.
 [2] 董冬,乔江晖,朱成亮,等.浅谈液体火箭发动机试验数据解析入库技术[J].火箭推进,2015,41(4):105-112.
 [3] 孙宇航,杨莉.基于装备试验数据的信息管理平台建设研究[J].国防科技,2021,42(2):133-137.