

城市轨道交通车辆算法孵化管理平台研究及设计

陈泽锋

上海申通地铁集团有限公司技术中心 上海 201103

【摘要】：城市轨道交通系统不断向智能化、数字化方向发展，基于车辆设备状态数据的智能算法已成为提升车辆运营安全和运维效率的核心驱动力。然而，目前算法从开发到落地应用存在测试数据缺失、测试验证场景单一、算法无法测试、准确度无法评价问题，导致车辆专家系统中的各类算法无法在实际业务中发挥作用。本文设计并实现了一个集数据采集和分类、算法测试和管理、算法准确性评估和验证于一体的车辆算法孵化管理平台。该平台提供了算法测试环境和全生命周期管理工具，为城市轨道交通车辆的智能化发展提供了有力支撑。

【关键词】：城市轨道交通；算法孵化管理平台；数据管理；算法管理；测试

DOI:10.12417/3083-5526.25.08.003

1 引言

当前车辆故障预测与健康管理系统（PHM）集成了大量算法^[1]，用于实现故障预警预测、健康诊断、寿命预测、应急处置支持等功能，从而为车辆的状态修、预测修提供支撑^[2]。然而，目前众多算法从开发到落地应用存在测试数据缺失、测试验证场景单一、算法无法测试、准确度无法评价问题，导致车辆 PHM 系统中的各类算法无法在实际业务中发挥作用。

本文融合大数据技术发展、数据挖掘与微服务架构技术，设计了一个集数据管理、算法导入、测试验证与评价迭代于一体的车辆算法孵化管理平台。

2 车辆算法孵化和管理平台的总体设计

车辆算法孵化管理平台围绕“数据管理—算法导入—算法测试—评价验证—迭代/上线应用”的全流程构建闭环管理链路。车辆智能运维平台可向车辆算法孵化管理平台提供列车真实的运行数据和故障数据^[3]，作为测试数据对算法进行测试，通过算法评价筛选出成熟可用的算法应用于车辆智能平台，图 1 为车辆智能运维平台和车辆算法孵化平台关系。



图 1 车辆智能运维平台和车辆算法孵化平台关系图

2.1 平台系统架构

平台采用 Spring 开发框架，并基于 Spring Cloud 微服务架构进行去中心化设计。整体架构自下向上划分为服务器层、数据管理层、算法运行层与功能展示层。平台基于 B/S 架构，支持分布式协同工作模式；采用结构化开发模块，并以标准化、模板化的方式实现系统开发。同时可兼容车辆故障预测与健康管理系统中的各类算法，图 2 为车辆算法平台系统架构。

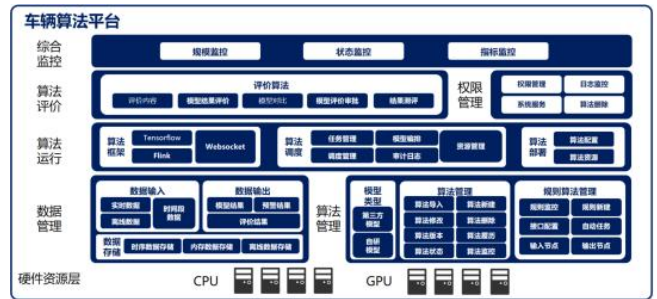


图 2 车辆算法平台系统架构图

2.2 功能模块设计

平台功能模块（图 3）主要分为数据管理模块、算法管理模块、运行模块和评价模块。

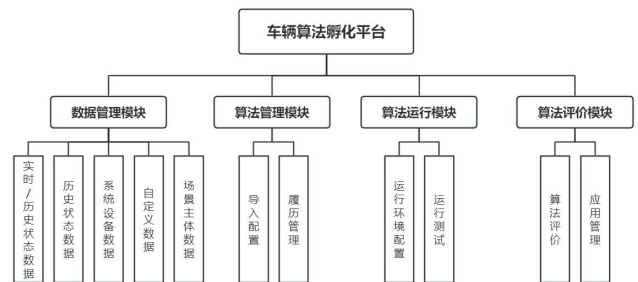


图 3 车辆算法平台功能组成

2.3 用户界面设计

平台的用户界面（如图 4）基于 Web 的应用架构处理用户指令及页面反馈，实现功能运行。用户界面的具体特征如下：

- ①提供基于 B/S 架构的 Web 用户界面，满足多用户异地访问；
- ②页面动态地实时展示用户指令结果；
- ③提供一个简易的框架，从而可以满足用户定制化设计要求；
- ④通过基于 Web 架构管理用户授权和所有相关用户请求；

- ⑤通过设计参数快速编辑可执行不同页面配置；
- ⑥提供系统数据交换接口和结构化浏览器界面展示。



图4 车辆算法平台用户界面

3 主要功能模块开发

3.1 数据管理模块

数据管理模块由数据输入模块、算法输出模块和数据存储模块组成。通过多源车辆数据的统一接入、清洗与分类，构建标准化测试数据集。数据主要分为以下几类：

(1) 实时/历史状态数据^[4]：主要为列车运行数据如车辆的速度、牵引/制动力及各子系统（如牵引系统、制动系统、车门系统、空调系统等）的状态数据和故障数据。该类数据已通过无传输通道发送至地面车辆智能运维平台并存储。实时落地且实时转发至车辆算法孵化平台的数据为实时数据，主要用于算法实时测试；数据落地后，车辆算法孵化平台非实时调用的数据为历史状态数据，该类数据主要用于离线训练与反复验证。

(2) 系统数据：主要为存储于各系统主机内部的原始状态数据。该类数据具有采集频率高（通常达到毫秒级或秒级）、数据量大、数据维度广等特点。该类数据主要用于精细化算法的测试，如车门开度计算、寿命预测等。

(3) 自定义数据：是指为满足特定算法测试、边界条件验证或故障模拟需求，自主定义数据结构、内容的非原始采集数据。该类数据不来源于车辆实际运行，而是通过人工构造、仿真生成或对历史数据样本进行修改、重组等方式获得。其主要面向难以在实际运行中获取或发生概率极低的场景，为算法提供可复现的、可控边界的测试输入，弥补真实数据在样本多样性与异常覆盖度方面的不足。

(4) 场景主题数据：是指为支撑特定类别算法验证或具体业务场景（如车轮轴承故障预警、车门防夹策略优化、空调系统寿命预测等），按主题组织形成的专题性数据集。该类数据通常来源于对系统数据、历史状态数据或自定义数据的筛

选、重组与标注，形成具有明确业务语义、可直接供算法调用的标准化数据集。其主要作用是降低算法测试前的数据准备成本，支持场景驱动的回归测试与跨算法横向对比，提升算法验证的规范性与可复现性。

3.2 算法管理模块

算法管理模块主要实现车辆算法的导入配置和履历管理功能。

算法导入配置功能主要将外部开发的算法以标准化格式导入平台，并提取算法元数据，如算法名称、类型、开发语言、运行环境等；查询与修改功能提供算法名称、版本、创建时间、状态等多条件组合检索，并允许授权用户对算法参数、描述信息进行更新；删除功能支持对废弃或无效算法进行逻辑删除或物理删除，确保算法仓库的整洁与可维护性；运行功能则与算法运行模块联动，允许用户直接从管理界面触发算法执行。

履历管理功能能够记录算法自创建之后的每一次关键操作，如创建、参数修改、版本升级、运行触发、评价结果、上线部署等，形成不可篡改的算法履历日志。

3.3 算法运行模块

算法运行模块主要实现算法运行环境配置和运行测试。

运行环境配置为不同算法提供适配的运行环境，主要包括环境变量、硬件资源、算力配额及输入输出信息。

算法运行测试主要选择算法及对应测试数据对单一算法或批量算法进行自动化运行测试。测试执行过程中，平台实时记录算法的运行状态、资源消耗、执行时长及异常信息，并保存完整的输入输出数据。

3.4 算法评价模块

算法评价模块实现对算法运行结果进行量化评估，支持准确率、均方根误差等多维度指标计算，同时提供标注真值比对、阈值判定及可视化分析，并自动生成结构化评价报告。算法评价结果作为算法迭代上线的重要依据，同时支持不同版本之间算法纵向对比。通过评价指标达标的算法可上行运用，未通过的算法需迭代优化后重新测试。

4 结束语

本研究设计一个集数据管理、算法导入、算法测试、评价验证于一体的车辆算法孵化管理平台，该工具旨在提高故障预测与健康管理系统可用度，筛选出切实可服务生产的算法。未来，通过持续推动故障预测、系统健康检测等算法的标准化、精细化管理，建立完善的测试验证体系，全行业共同发现，才能实现车辆设备状态修和预防修。

参考文献:

- [1] 陈哲,张森,王蕾,等.电力机车故障预测与健康管理系统总体方案研究[J].机车电传动,2021,(03):125-131.D
- [2] 赵焱,曾云峰,陈龙,等.基于大数据的城轨车辆 PHM 智能运维系统的研究与实践[J].铁道车辆,2022,60(06):133-138.
- [3] 俞正宽,陈伟嘉,程兵,等.地铁车辆智能运维系统建设分析[J].智慧轨道交通,2025,62(02):50-55.
- [4] 陈希隽.车辆智能运维系统设计与应用[J].电力机车与城轨车辆,2023,46(01):116-120+132.