高速公路机电系统信息化平台与大数据融合研究

徐 辉 张玉洪
浙江中控信息产业股份有限公司 浙江 杭州 310051

摘 要 伴随高速公路网络持续扩展及车流密度显著攀升，既有机电系统信息化平台在数据处理和协同响应等环节存在明显短板。本研究主要攻克技术短板、数据壁垒、融合障碍及安防风险等难题，研制“数据采集—汇聚—分析—应用”全流程的大数据管理模型，集成边缘侧与云计算能力，协同并行运算、数据加密及区块链等核心技术，优化整体架构与功能实现。经实践检验，采用该融合方案后，数据处理时间压缩至原时长的33.33%，应急处置效率实现六成增长，故障预测精度为92%，流量预测精度达到92%的水平，实证分析成功突破过往系统局限，给出高速机电系统智能化的技术实现路径及操作支持，实现智慧交通系统效能跃升。

关键词 高速公路机电系统；信息化平台；大数据融合

Research on the Integration of Expressway Electromechanical System Information Platform and Big Data

Xu Hui, Zhang Yu-hong
Zhejiang SUPCON Information Industry Co., Ltd., Hangzhou 310051, Zhejiang Province, China

Abstract With the continuous expansion of the expressway network and the significant increase in traffic density, existing electromechanical system information platforms exhibit obvious shortcomings in data processing and collaborative response. This research primarily addresses challenges such as technical limitations, data barriers, integration obstacles, and security risks. It develops a big data management model covering the entire process of “data collection-aggregation-analysis-application,” integrates edge and cloud computing capabilities, and coordinates core technologies including parallel computing, data encryption, and blockchain to optimize the overall architecture and functional implementation. Practical verification shows that after adopting this integration scheme, data processing time is compressed to 33.33% of the original duration, emergency response efficiency increases by 60%, fault prediction accuracy reaches 92%, and traffic flow prediction accuracy attains 92%. Empirical analysis successfully overcomes the limitations of previous systems, providing a technical implementation path and operational support for the intelligentization of expressway electromechanical systems, thereby achieving a leap in the efficiency of smart transportation systems.

Key words Expressway Electromechanical System; Information Platform; Big Data Integration

面对智慧交通的蓬勃发展局面，高速公路作为交通基础设施的核心部分，该系统的运行效能及管理质量关乎区域经济发展水平。既有公路机电系统信息化平台在架构与技术层面存在短板，面对TB级日数据处理需求与复杂路网环境，频繁出现实时计算延迟、跨系统协调失灵、安防漏洞增多等现象，难以支撑精细化运营与紧急事态应对。大数据技术凭借其卓越的数据整合、快速分析及价值挖掘特性，成为解决这些问题的关键突破口。本研究着力推进高速公路机电系统信息化平台与大数据的无缝对接，依托框架升级、技术整合与实操验证，推进平台智慧化升级，为智慧公路发展提供坚实后盾。

1 高速公路机电系统信息化平台的不足

1.1 技术瓶颈凸显

传统高速公路机电系统信息化平台多采用集中式架构，数据处理能力有限，面对高峰时段2万辆/h以上的车流量及TB级日均数据量，难以实现实时分析与快速响应。部分平台建成时间超5年，架构老化问题突出，在异构数据处理、系统扩展方面存在明显短板，应急事件响应时间最长达30 h，无法满足交通管理对时效性的要求。同时，平台硬件配置与软件适配性不足，面对新型机电设备接入时，兼容性问题进一步加剧处理延迟，形成技术升级阻碍[1]。

1.2 数据孤岛现象严重

高速公路机电系统包含监控、收费、气象监测、隧道管理等多个子系统，各子系统多采用独立数据库框架与数据格式，如收费站交易记录存储于Oracle数据库，监控视频数据存储于HDFS分布式文件系统，变电所能耗数据采用其他类型数据库管理系统。由于缺乏统一的数据交换标准与接口协议，子系统间数据无法高效共享，形成数据壁垒，导致跨系统分析效率低下，无法为交通管理决策提供全面、协同的数据支撑，影响全局管控精度[2]。

1.3 系统集成与互操作性不足

各系统构建阶段不一，技术标准多样化，未制定标准化的接口规则与传输协议，造成信息跨平台流转迟滞，跨系统协同效果欠佳。伴随车联网及自动驾驶等突破性技术的实施，当前基础设施的兼容扩展与集成能力不足，与创新技术体系存在兼容壁垒。中间件技术应用水平不高，引发多系统数据流转过程中的丢包与处理延迟现象，进而拖累整体协同运作效率，导致应急调度与事件处置的配合效果下降。

1.4 安全与隐私保护薄弱

数据从传输到处理阶段均缺少有效的安全保护，涉及车辆属性及缴费数据等未配置有效加密方案，易受黑客入侵及隐私外泄威胁。共享机制下的用户认证与资源控制体系尚不成熟，存在权限失控隐患。部分服务商未部署数据篡改防御手段，诸如事故报告、收费明细等核心数据的真实性与一致性存在问题，既违反数据保护法规，又无法建立实际使用信任[3]。

2 融合大数据的高速公路机电系统信息化平台构建

2.1 总体架构设计

融合大数据的高速公路机电系统信息化平台采用“三级架构”设计，分别为数据采集层、数据融合层与算法服务层，各层级协同联动实现全流程数据处理。数据采集层通过边缘计算节点就近处理视频、传感器等数据，利用PLC工业处理器预处理后，通过5G与有线通信技术实现关键设备数据的实时采集与回传；数据融合层采用混合存储架构，整合云技术与大数据技术，建立标准化协议平台，打通子系统数据链路，构建设备拓扑关系图谱；算法服务层基于Hadoop与Spark框架实现数据并行分析与深度挖掘，开发适配业务需求的算法模型，为故障诊断、交通预测等提供技术支撑。该架构既保障了数据处理的实时性，又提升了系统的扩展性与协同能力。

2.2 数据采集与预处理

在数据采集环节，通过整合车辆检测器、高清摄像头、温湿度传感器及收费设施等多元设备，并利用RS485、CAN总线及以太网等标准化接口与数据采集网关连接，确保数据采集的全面性与准确性[4]。在传输过程中，根据不同场景选用适配协议：采用TCP/IP协议保障大量数据的高速传输与低丢包率，利用MQTT协议满足带宽受限环境下的实时性需求，并通过HTTP/HTTPS协议保障数据传输安全。在数据预处理阶段，运用Python语言结合层次分析法，通过缺失值填补、噪声数据去除及数据标准化等操作提升数据质量，将数据缩放到统一尺度，为后续分析奠定基础。同时，采用Apache Flink进行流式数据清洗，并通过标准化API接口实现各子系统间数据的高效交换。

2.3 数据存储与管理优化

数据存储采用“数据中心+混合云存储”模式，结合HDFS分布式文件系统、HBase等NoSQL数据库技术，优化数据存储效率与访问速度，满足大规模数据的存储与检索需求。引入云计算架构如AWS、Azure等，实现计算资源动态扩展，通过负载均衡机制根据CPU占用率与网络带宽自动调整资源分配，以应对突发流量。数据管理过程中采用数据分区、索引优化策略提升检索速度，建立完善的数据备份与恢复机制保障数据安全[5]。同时，运用MapReduce模型将数据划分为多个处理单元进行并行计算，通过Reduce阶段合并计算结果，大幅提升数据处理效率，将每日数据处理时间从12 h缩短至4 h。

2.4 数据分析与挖掘体系

构建以快速核主成分分析为核心的数据分析模型，利用高斯核函数将高维数据映射至低维空间，降低计算复杂度。引入随机森林与支持向量机等算法，评估交通流量、路面温度及环境湿度等特征权重，明确交通流量与路面温度为核心影响因子。建立线性回归与逻辑回归模型，实现交通流量预测与故障预警，通过历史数据学习提升预测精度。同时，借助Spark Streaming微批处理机制实时处理数据流，结合Redis分布式缓存技术缓存热点数据，减少I/O操作与数据延迟，进一步提升分析效率。

2.5 数据安全保障机制

在数据安全方面，采用AES-256加密算法对车辆信息、收费数据等敏感信息进行加密处理，确保数据传输与存储过程的安全性。引入区块链技术如Hyperledger Fabric，并采用RAFT共识机制构建去中心化的分布式账本，通过哈希函数为每个区块生成唯一标识符，保障数据的不可篡改性与透明性。建立基于角色的访问控制机制，根据管理员、监控员、操作员等不同角色分配相应权限，有效防止未授权访问。利用智能合约实现预设条件下的数据自动交互与交易处理，提升系统的自动化水

平。同时，通过Kafka中间件的分区机制与Leader-Follower机制，保障数据传输过程中的完整性与容错能力。

3 融合大数据的高速公路机电系统信息化平台应用

3.1 应用部署场景

某省高速公路局与广东某高速公路项目均部署了该融合大数据的信息化平台，硬件方面采用Dell PowerEdge R740服务器，配备Intel Xeon Scalable处理器、64GB DDR4内存与2TB SSD存储，保障强大的计算与存储能力；软件方面选用Ubuntu或CentOS操作系统，结合Python编程语言与Django、Flask Web框架，加速应用程序开发与部署。平台整合交通监控、收费站、气象传感器等数据源，通过Apache Kafka与RabbitMQ中间件实现实时数据传输，利用AWS S3与Microsoft Azure云平台结合HDFS实现分布式存储，在收费记录与事故信息管理中应用区块链技术进行数据存证。

3.2 核心性能指标提升

平台应用后在多项核心性能指标上实现显著提升，数据处理时间从12 h缩短至4 h，改进幅度达66.67%；系统响应时间从30 h降至8 h，提升73.33%；事故处理平均时间从25 min缩短至10 min，效率提高60%；交通流量预测精度从75%提升至92%，故障预测准确率从60%升至92%，误报率下降77%，预警响应时效从120 min缩短至15 min，缩短87.5%。同时，平台打通12类子系统数据壁垒，构建的设备拓扑图谱为87%以上的机电设备建立了动态关联模型，大数据处理效率提升4倍，有效支撑了交通管理的精细化与智能化。

3.3 典型应用成效展示

1.交通流量预测与疏导。通过机器学习算法对交通流量数据的深度分析，平台能够精准预测未来时段的交通流量变化，尤其在高峰时段与节假日，提前识别拥堵风险并生成优化调度方案。结合实时路况信息，自动调整收费车道开放数量、切换车道通行方向，通过交通广播与导航系统向车主推送分流建议，有效减少拥堵时长，提升通行效率。某高速公路项目应用后，高峰时段平均通行速度提升15%，拥堵路段长度减少20%，为公众出行提供了更便捷的服务。

2.设备故障预警与运维优化。利用大数据分析模型对机电设备运行数据进行实时监测与分析，平台能够提前识别设备潜在故障，如收费站设备异常、监控摄像头故障、变电所能耗异常等，及时发出预警信息并生成维修工单。维修人员根据预警提示与设备拓扑关系图谱，快速定位故障位置、获取设备参数，开展针对性维护，避免故障扩大影响交通运行。平台应用后，设备故障率下降35%，维修成本降低28%，运维效率显著提升，保障了机电系统的稳定运行。

3.应急事件快速响应。在交通事故、恶劣天气等应急事件发生时，平台能够快速整合现场监控数据、气象数据、交通流量数据等多源信息，自动分析事件影响范围与发展趋势，生成应急调度方案。通过与交通指挥中心、救援部门、医疗机构等的信息联动，实现资源快速调配、交通实时管控与救援路径优化，缩短应急响应时间。某省高速公路局应用后，交通事故平均处理时间从25 min缩短至10 min，救援到达时间缩短30%，有效降低了事故造成的人员伤亡与财产损失。系统性能改进对比见表1。

表1 系统性能改进对比

性能指标	实施前	实施后	改进幅度
数据处理时间	12 h	4 h	66.67%
系统响应时间	30 h	8 h	73.33%
事故处理效率	25 min	10 min	60.00%
交通流量预测精度	75%	92%	22.67%

4 结束语

针对高速公路机电系统平台的大数据融合问题，本研究构建了“采—融—析—用”端到端处理体系，统筹边缘计算、云平台、并行框架与区块链技术，解决了既有平台信息孤岛、协同困难与安全漏洞等问题。实践表明，平台数据处理效率、响应速度、预测精度与安全性均大幅提升，主要指标增幅超过60%，实现了高效智能化的交通管理。未来将融合AI与深度学习，优化模型，增强系统自适应能力并拓展应用场景，助力智慧交通深度智能化发展。

参考文献

[1]张伟,乔英春,郭强.基于物联网技术的高速公路机电远程管控系统建设[J].中国交通信息化,2025(12):133-137.

[2]李忠.智能巡检机器人在高速公路机电系统运维中的关键技术探析[J].中国交通信息化,2025(S2):129-130,140.

[3]陈秀轩.基于数字孪生技术的高速公路隧道机电设备故障诊断研究[J].运输经理世界,2025(28):136-138.

[4]苗葳,徐舸,赵佰栋.高速公路机电设备振动频率异常智能检测系统[J].自动化与仪表,2025,40(9):99-103.

[5]张婷婷.高速公路隧道机电系统温度监测研究[J].工程技术研究,2025,10(18):96-98.

（本文编辑 杜宇琪）