

成品油零售环节加油机防作弊系统中的数据篡改检测方法研究

王磊 杜剑 (内蒙古自治区产品质量检验研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 基于加油机运行数据易被篡改的情况, 对防作弊系统中的数据篡改检测方法进行了研究。阐述了系统体系结构设计、特征参数提取与一致性判定模型的构建思路, 介绍了时间序列残差检测与多层校验机制的实现过程。结合内蒙古自治区产品质量检验研究院的实际应用, 研究结果表明该方法可实现对多类型篡改行为的实时识别与稳定检测, 检测准确率超过 96%。

关键词: 加油机; 防作弊系统; 数据篡改检测; 一致性判定; 残差分析

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 010-0034-03

Research on Data Tampering Detection Methods in Anti-Tampering Systems for Fuel Dispensers in the Retail Segment of Refined Oil Products

Wang Lei, Du Jian (Inner Mongolia Autonomous Region Product Quality Inspection and Research Institute, Hohhot Inner Mongolia 010010, China)

Abstract: Given the susceptibility of fuel dispenser operational data to tampering, this study investigates data tampering detection methods within anti-fraud systems. It outlines the system architecture design, feature parameter extraction, and consistency verification model construction approach, while detailing the implementation of time series residual detection and multi-layer verification mechanisms. Through practical application at the Inner Mongolia Autonomous Region Product Quality Inspection Institute, the results demonstrate that this method enables real-time identification and stable detection of multiple types of tampering behaviors, achieving a detection accuracy exceeding 96%.

Keywords: fuel dispenser; anti-tampering system; data tampering detection; consistency determination; residual analysis

加油机作为成品油零售环节的核心计量设备, 其数据安全直接影响能源计量公正与监管效能^[1]。近年来出现的软硬件篡改问题使传统加油机检定手段暴露出滞后和盲区。为提高检测实时性与准确性, 急需构建基于数据流动态分析的防作弊体系。研究围绕加油机运行数据的采集、特征提取、一致性判定与残差检测, 形成多层协同的篡改识别模型, 并在实际检测平台中实现集成验证。该体系通过多源信号融合实现对异常行为的精准识别, 为加油机计量防护提供技术支撑, 对提升监管效率与维护计量公信力具有重要意义。

1 加油机防作弊系统的体系结构设计

加油机防作弊系统设计以“端—边—云”协同架构作为关键要素, 形成从数据采集到智能检测的循环封闭结构。如图 1, 系统整体由感知层、传输层、分析层跟应用层构成, 感知层通过安装在加油机的流量计、脉冲编码器与主控电路上的多点采集模块, 达成对流量、单价、交易脉冲等关键数据的实时抓取; 传输层采用加密通信通道跟数字签名机制, 造就双端加密与签名校验的机制, 防止数据上传时遭截取或篡改。分析层添设残差检测与一致性判定算法模块, 可在本

地边缘节点开展异常初步筛选与数据压缩工作, 极大降低云端的计算压力, 应用层的工作是与加油站智慧监管平台实现对接, 实现告警通知推送与记录溯源查找, 系统设计把重点放在模块化与可扩展性上, 核心数据链路依靠哈希校验与时间戳双重验证保障数据完整性, 各层运用标准化接口协议实现灵活组网与即时交互, 保证多机并行运行环境下检测算法的同步性与鲁棒性。

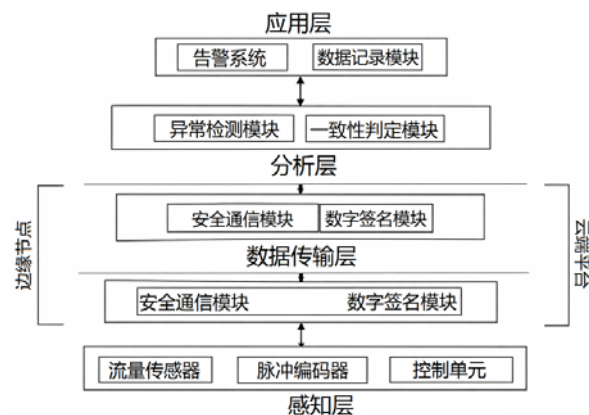


图 1 系统整体架构

2 数据篡改行为特征识别

2.1 篡改类型与异常信号特征分析

加油机运转过程里,数据篡改主要呈现为对关键测量链路实施伪造、插入或替换操作,目的多数是干扰流量累计以及交易计量的准确性,依据篡改行为在信号链上所处的位置和方式,可归为三类:第一种是脉冲干预型篡改,靠外接信号源注入虚假脉冲,造成累计流量与单价计算紊乱^[2];二是通信环节替换型篡改,对主控板与上位机通信的数据帧内容进行篡改,呈现出报文周期不固定、校验码不正常现象;其三是存储方面的篡改型,直接对内部EEPROM与日志记录做修改,引发历史数据瞬间变化或者时间戳产生中断。从信号这一层面看,篡改行为大多会造成采样序列出现突变点密集、周期失衡以及高频噪声能量上扬等特征^[3],采用均方根、偏度加上频谱能量分布分析可识别此类异常问题,其中均方根体现出整体波动的幅度水平,偏度呈现出信号的非对称状态,频谱能量失衡体现了伪信号注入现象。

2.2 特征参数提取与一致性判定模型

为达成对加油机运行数据的精准判别,系统在分析层建立起基于多源信号融合的特征参数提取与一致性判定模型。首先,分别对流量、脉冲以及交易日志三类信号提取时间域与频域特征,均方根值、峰值因子与波动率属于时间域特征,用以刻画信号能量及动态幅度;频域特征借助快速傅里叶变换获得主频幅值与频带能量的分布,以揭示周期性扰动出现的规律。其次,为识别篡改行为对多通道信号一致性形成的破坏,引入残差校验模型,对实际采样值与理论计算值的偏差进行量化分析。模型定义如下:

$$R_t = \frac{|Q_m - Q_c|}{Q_c} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R_t 为时刻 t 的一致性偏差率; Q_m 为流量传感器实测瞬时流量; Q_c 为由脉冲计数和单位体积系数计算得到的理论流量。当 $R_t > \delta$ (δ 由统计样本计算得到,取值范围3%~5%)时,系统判定存在潜在篡改行为。

2.3 时间序列残差检测算法设计

完成特征参数提取跟一致性判定之后,系统应进一步判定数据在时间维度里的异常突变走向^[4]。为此,建立基于滑动窗口的时间序列残差检测办法,用以察觉潜在篡改引发的动态偏移,算法把采样序列的稳定性当作核心判据,一开始利用加权滑动平均(Weighted Moving Average, WMA)模型预推下一时刻的正常数值,接着将实际观测值与预测值的差值定义为残差。其计算公式为:

$$e_t = x_t - \sum_{i=1}^n w_i x_{t-i} \quad (2)$$

式中: e_t 为时刻 t 的残差; x_t 为当前时刻采样值; x_{t-i} 为前 i 个时间步的历史采样值; w_i 为加权系数,满足 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$; n 为窗口长度(一般取5~10)。当连续 k 个时刻的 $|e_t|$ 超过阈值 $\theta = \mu + 3\sigma$ (其中 μ 为历史残差均值, σ 为标准差)时,系统触发异常标记。

该算法可在边缘节点马上实时运行,实现对数据的秒级检测与响应,利用残差分布特征与持续异常判定策略相结合,能有效区分短期的波动与持续的篡改行为,算法得出结果以时间序列图这种形式呈现,为阈值动态调整以及系统决策模块给予输入,使检测过程呈现出自适应与可讲解性特征。

3 数据篡改检测方法的设计与实施

3.1 数据校验模型构建与算法实现

基于特征参数跟时间序列残差的结果,系统于分析层搭建了多维融合的数据校验模型,以达成对加油机运行数据的实时判别和闭环验证,模型设计依照“参数关联—多层比对—动态决策”的准则,将流量信号、脉冲计数、通信帧校验码等指标根据时间戳对齐,从而形成特征向量矩阵,其要紧思想是依靠跨维特征关联建立起数据行为画像,以找出篡改行为在不同通道当中的异常耦合特性^[5]。

模型由三部分组成:一是采用特征融合模块,以残差波动特征、峰度变化率及信号一致性偏差构建校验向量;二是采用自适应方式的权重分配机制,基于各特征的历史稳定状态自动调整其参与权重,提升模型对不同工况环境的鲁棒性;三是多阶段决策引擎,依靠逐级判定策略实现异常等级的划分,第一层依靠统计区间筛选达成快速过滤效果;第二层结合残差序列的趋势识别持续的偏移;第三层按照跨信号差异度综合评价风险等级并输出检验结果。

当进行算法实现的时候,系统采用并行式的计算架构,把特征提取和比对运算分发到边缘节点实施,中央服务器只接收高置信度结果做再次核实,此模式有效把通信延迟和计算冗余降低了,校验输出是以“正常—疑似—篡改”三级状态标识来展现,且自动与历史数据作对比后生成风险图谱。

3.2 检测流程设计与阈值判定机制

为保证数据篡改检测在实时性与准确性上达标,系统以模型为基础构建了分层化检测流程与自适应阈值判定机制,检测流程以“数据接入—特征分析—异常筛查—结果输出”为核心线路,经由多级处理节点实现高效的闭环体系。首先在数据接入阶段,系统对流量、脉冲、通信和日志四类信号进行时间的同步与噪声的过滤,保障分析样本在时间域与空间域能相互对应。其次在特征分析阶段,系统采用边缘节点内置

的算法,对短周期数据窗口做滑动式的运算,提取以残差波动率、信号偏离度和特征稳定性为内容的关键参数,而后将结果做成结构化特征包。

异常筛查阶段采取层级式判断方法:第一层凭借静态阈值快速把显著异常过滤掉,主要用来识别伪造脉冲、通信丢帧这类突发性篡改;第二层依托动态阈值开展趋势判断工作,与历史统计分布做对比,识别持续性的或者渐进式的异常;第三层开展综合判定,将前两层输出结果与一致性模型结果相融合,得出最终风险相关标签,各层采用异步消息队列进行传递,既保证并行计算的效率,又杜绝了重复的运算。

阈值判定机制实行“全局自适应+局部反馈”策略,系统起初依据历史样本的分布状况计算基础阈值区间,接着依据实时数据的波动自动校正,若外部环境(如油温或者网络延迟)改变造成噪声增加时,阈值会动态延展以规避误报。与此同时,系统进行针对近期告警准确率的反馈学习,按固定周期调整阈值的权重,使检测的灵敏度与稳定性达成平衡,最终输出的告警结果划分成了三级:正常、疑似差错、篡改,各级别分别对应不一样的响应策略,像在疑似状态的情况下触发二次采样验证,要是处于篡改状态,就马上生成日志并推送至监管方。

3.3 系统集成与实际应用路径

为验证加油机防作弊系统在实际检测情形下的可行性及性能表现,项目在内蒙古自治区产品质量检验研究院计量检测中心完成系统的集成与现场的部署,系统集成构建“边缘计算节点+中心控制平台”的双层架构来进行集成,边缘端嵌入流量采集、通信安全和数据校验相关模块,中心端构建检测管理平台以及结果可视化界面,现场共选定12台不同型号加油机,实施为期30天的连续监测,采样的频率设定为1Hz,采集数据的累计量超过250GB。

在开展系统集成过程里,研究团队着力处理了多源信号同步与数据延迟补偿难题,采用统一的时钟校正办法,保障流量、脉冲和通信日志在同一时间基准下实施比对;同时针对边缘节点与云平台二者间的通信延迟,系统引入针对缓冲区的动态调度策略,实现让数据包重传率降至0.2%以下,数据传输采用双向加密跟数字签名验证做法,保障检测日志在存储与传输过程里的完整性,平台端达成了数据实时回显、异常记录追踪以及自动报告生成等功能,达成了从采集直至监管的全链条闭环。

为检验系统在各类篡改场景下的检测能力,研究院挑选了三类典型测试:脉冲信号注入、通信数据置换及内部参数修正。结果见表1。

从表1可看出,系统于三类测试当中均呈现出较高的检测精度与响应速度,其中脉冲信号注入场景的检测精准度最高,为97.8%,体现出残差检测算法对突发性数据注入敏感性强;通信数据替换场景之下,响应时间稍微上升了,但误报率依旧维持在2%以内,说明加密通道实时比对机制对可靠性有有效提升;内部参数修改可归为隐蔽型篡改,其检测稳定性的评分为90分,反映出模型在长期序列异常识别中的稳健能力,系统综合运行结果说明,处于连续监测的状况下,检测平台可针对加油机关键数据进行实时校验与智能判定,跟传统人工核查方式比起来,平均检测效率提高了约65个百分点,数据记录完整性提升到99%以上的水平。

4 结束语

研究围绕加油机防作弊系统内的数据篡改检测问题展开,设计了以特征参数提取、一致性判定与时间序列残差分析为核心的检测方法体系,然后在内蒙古自治区产品质量检验研究院完成系统的集成及验证,该体系能够于多源信号融合条件下,实现针对篡改行为的实时识别与分级判定,有着较高的检测精度以及稳定性。研究达成了从单点异常筛查到全链路数据核验的转变,为加油机计量监管打下了技术根基,未来工作会聚焦开展更大规模终端环境下模型轻量化以及参数自适应优化研究,进一步改善检测算法的泛化效果与系统在复杂工况下的抗风险能力,为燃油零售环节的数字化防控提供可持续的技术手段。

参考文献:

- [1] 周时勇,彭景,桂嘉,等.燃油加油机防作弊功能的技术要求与验证方法研究[J].聚酯工业,2025,38(06):124-126.
- [2] 陈志华.燃油加油机的防作弊技术及措施浅析[J].全面腐蚀控制,2025,39(07):59-61.
- [3] 崔智睿.加油机计量检定与计量防作弊分析[J].大众标准化,2024(17):185-187.
- [4] 姚素娜,李妮妮,郑群,等.一种燃油加油机远程防作弊系统的设计[J].计量科学与技术,2023,67(02):53-57+12.
- [5] 范旻,方晓群.计量检定技术在燃油加油机防作弊中的运用[J].造纸装备及材料,2020,49(04):131-132.

表1 系统在不同篡改场景下的检测效果对比

篡改类型	测试次数	检测准确率 (%)	误报率 (%)	平均响应时间 (s)	检测稳定性 (得分/100)
脉冲信号注入	120	97.8	1.5	0.82	94
通信数据替换	100	96.3	2.1	0.95	92
内部参数修改	80	94.7	2.8	1.07	90