

停车场计时计费系统在线检测方法研究——迈向实时化、智能化的计量监管新范式

邹超 贾永国 李新生 周飞
陕西省计量科学研究院 陕西 西安 710060

摘要：城市机动车保有量的持续增长对停车资源管理与交易公平性提出更高要求。作为贸易结算用强制检定计量器具，停车场计时计费系统的计量精度直接影响消费权益、市场秩序与监管公信力。现行以周期检定与人工抽查为主的监管模式存在固有限制，监管间隔期的系统状态无法获知，大规模设备覆盖难以实现，现场作业干扰正常运营，数据价值未能充分挖掘。

本文提出一种基于物联网架构的在线检测方法体系。该系统部署具备独立时间基准的智能检测终端，通过非侵入式数据接口采集计费系统运行数据，在边缘侧完成时间同步验证与交易逻辑审计，最终通过云端平台实现宏观态势感知与智能分析。研究完成了以下工作：系统分析了计时误差的硬件层、软件层与人为层多维来源；构建了包含现场感知层、边缘分析层、云端智慧层的三层检测架构；设计了时钟同步连续监测与交易数据流全链审计双核心算法；探讨了安全授时、数据接口标准化、动态规则建模等关键技术实现路径。

该方法推动计量监管从离散点状检查向连续过程监控转变，能够实现设备运行状态的实时检测、异常事件的即时预警、消费风险的早期识别。研究为构建数字化、智能化的现代计量监管体系提供了可行方案，对提升城市治理效能具有实践价值。

关键词：停车场计时计费系统；在线检测；计量监管；误差分析；物联网架构

引言

城市停车管理的智能化转型正加速推进，基于视频识别、地磁传感等技术的自动计时计费设备已广泛应用于各类停车场景。这些设备作为停车服务贸易结算的法定计量器具，其测量结果的准确性成为保障交易公平的技术基础，本质上延续了传统度量衡在现代服务业中的核心作用。

现行监管体系主要依据《中华人民共和国计量法》及JJF 2241-2025《电子停车计时收费表校准规范》，要求设备接受周期为一至两年的校准，并辅以不定期的现场监督检查。这种模式在实践过程中逐渐显现其结构性局限：

监管存在显著的时间盲区。一次合格的现场检定仅能证明设备在该特定时间点的计量性能符合要求。在长达两年的检定周期内，设备可能因时钟晶振老化产生累积漂移，因软件异常触发偶然故障，或因操作失误导致参数设置错误。这些动态变化无法被传统监管模式有效捕捉，计量失准通常仅在引发消费纠纷后才被察觉，形成被动响应的事后处理机制。

监管面临有限的空间覆盖挑战。大中城市停车设施数量庞大、分布广泛，计量技术机构受限于人力资源与检测成本，难以对所有设备实施高频次、全覆盖的现场

检查。基于统计抽样的监管方式必然留下未被检视的设备群体，削弱了法律规范的普遍约束效力。

监管过程产生运营干扰。现场检定通常需要占用运营中的停车泊位，可能中断正常的停车服务流程。对于路内停车等公共空间，检测作业还需协调交通组织，受天气条件等外部因素制约，实施难度与复杂程度较高^[1]。

物联网技术实现了物理设备的广泛连接与数据采集，可以构建一套基于这些技术的在线检测系统，实现对计时计费设备运行状态的实时、远程、连续监控，这已成为提升计量监管效能、适应智慧城市管理需求的必然发展方向。本研究旨在系统探索这一技术路径的实现方法与核心架构。

1 系统误差来源的多维分析

1.1 硬件层误差

时间基准误差是影响计时精度的根本因素。系统主控制器依赖的晶体振荡器输出频率随环境温度变化与使用时间推移发生漂移，典型漂移率可达 ± 10 ppm至 ± 100 ppm，这意味着每日可能产生0.86秒至8.64秒的累积误差。虽然多数系统配置网络时间协议客户端进行时间同步，但网络传输延迟的不确定性、授时服务器故障或防火墙配置不当均可导致同步失败或引入额外偏差^[2]。

车辆感知误差发生在数据采集的初始环节。地磁传感器或感应线圈的灵敏度阈值设置不当可能导致两种错误：漏检（车辆通过未产生信号）与误报（无车辆时产生信号）。单次漏检将导致入场或离场时间戳的完全缺失，引发严重计费错误。基于视频的车牌识别系统则受光照条件（强逆光、夜间低照度）、气象因素（雨、雪、雾）、车牌污损及遮挡影响，可能产生识别失败、识别延迟（数百毫秒至数秒）或车牌号误识别等问题，直接影响时间戳绑定与车辆身份匹配的准确性。

系统内部通信延迟虽通常在毫秒量级，但在网络拥塞或设备故障等异常状态下，车辆检测事件从感知单元传输至主控制器的过程可能出现不可忽略的延迟，甚至发生数据包丢失，导致时间记录失真。

1.2 软件层误差

计费规则引擎错误是引发费用争议的主要原因。各城市停车收费政策通常包含复杂规则：首小时后采用阶梯单价、昼夜执行不同费率、设置免费停放时段、区分车型类别、实行单日最高限价等。软件编码中对这些规则边界的处理不当（如时间点归属判定错误）、舍入规则（“不足一个计费单位按一个单位计算”）的异常实现、费率参数配置错误，均会导致计算结果偏离政策规定^[3]。

计时算法缺陷体现在特殊场景的处理中。对于跨越自然日（如23:50停放至次日00:20）的停车事件，系统需准确分割不同日期的计费时段。若日期切换逻辑存在缺陷，可能导致时长计算错误或费率应用混乱。系统在高并发处理状态下，若资源调度算法不佳或存在内存泄漏，可能导致响应延迟，使得时间记录无法精确对应物理事件的发生时刻。

1.3 人为层误差

人为层误差包括非故意误操作与故意篡改两类。非故意误操作涵盖系统初始化过程中的参数设置错误、定期时间校准的操作失误、费率规则更新时的录入错误等日常运维疏失。故意篡改则属于主观恶意行为，指运营人员通过非授权手段访问系统后台，直接修改系统时钟、调整计费参数或清除特定车辆的停车记录，意图获取不当经济利益。此类行为具有隐蔽性、故意性与欺诈性^[4]。

传统现场检定通常在受控环境下进行，重点检测时间基准的准确性与基本计费功能的正确性。这种检测方式难以充分评估复杂真实环境中感知单元的性能表现，不易触发深层次的软件逻辑缺陷，更无法持续监督防范人为干预风险。在线检测系统的设计目标，正是要构建一个能够对上述多层次误差源实施持续监测与分析的综合性监管框架^[5]。

2 在线检测系统架构设计

本文提出的在线检测系统采用分层分布式架构，核心思想是通过“时间基准实时比对”与“交易数据流全链审计”双机制并行驱动，停车计时计费系统进行流量式检测。

2.1 检测层设计

检测终端内置双模卫星授时接收机（支持北斗与GPS系统），并配备恒温晶振守时模块。该配置可确保在卫星信号暂时失效的条件下，24小时内自主守时误差小于10毫秒。终端形成独立于被测计费系统的本地UTC时间参考，作为整个检测链的溯源基准^[6]。

2.2 分析层设计

分析层部署于检测终端内部，执行实时性要求最高的核心检测算法与数据预处理任务。时钟同步状态监测算法以固定周期（如每秒一次）向计费系统主控单元发送时间查询指令，获取其系统时间 t_1 。算法将该值与检测终端本地高精度时间 t_0 进行比对，计算瞬时偏差 $\Delta t = t_1 - t_0$ 。监测过程采用滑动时间窗口（如最近100次查询）统计偏差的均值与标准差。算法不仅能识别超差事件，更能通过线性回归分析识别时间漂移的趋势（如每日固定增加或减少的秒数），实现预警功能。

单笔交易审计算法对捕获的每一条完整交易记录实施即时分析。记录通常包含车牌标识、入场时间 t_n 、离场时间 t_o 、系统计算时长 T 、系统计算费用等字段^[7]。

时长验证：算法利用检测终端记录的更精确的车辆感知事件时间，或对 t_n 和 t_o 使用当前 Δt 进行补偿修正，计算出更可靠的参考停车时长 T 。验证核心为计算绝对差值 $|T - T_0|$ （ T_0 为检测终端高精度时间）。

费用验证：算法载入本地存储的、经权威机构认证的计费规则模型。将 T_0 及车辆类型（如区分大小型车）输入模型，独立计算应收费用。验证核心为比较 T 与 T_0 的一致性。

逻辑合规性检查：算法执行一组预定义规定，例如： t_o 必须晚于 t_n ；单次停车时长不应超过合理上限（如30天）；同一车牌在短时间内不应出现多重入场记录等。

3 关键技术实现路径

3.1 安全授时与数据完整性保障

检测终端自身的时间可信度是整个系统的基础。需采用基于硬件的安全模块（HSM/Secure Element）构建信任根。所有关键操作——卫星授时解码、守时脉冲计数、时间比对计算——均在安全模块的隔离环境中执行。每次比对产生的结果数据（含 t_1 、 t_0 、 Δt ）由安全模块内的密钥进行数字签名，生成带时间戳的审计凭证^[8]。

这种设计确保了即使终端操作系统被渗透，原始检测数据也无法被伪造或篡改，满足计量数据法律证据的完整性要求。

3.2 非侵入式数据采集的标准化

短期，监管机构可将数据监测接口作为新安装或升级改造的计费系统通过正式批准或强制检定的附加技术要求。接口规范可要求输出最小数据集，包括精确到毫秒的事件时间戳、交易金额等。

中期，联合主要设备制造商、停车管理运营商与标准化组织，共同制定团体或行业标准《停车计费系统远程监测数据接口规范》，明确定义数据传输协议（如MQTT、HTTPS）、数据加密方法、身份认证机制与接口性能要求^[9]。

长期，推动将该标准纳入国家计量技术规范体系，作为计费系统设计、制造与验收的强制性标准，从产业源头实现设备的“出厂即可监测”。

3.3 测量不确定度评定与法律效力衔接

将在线监测结果用于行政执法或纠纷仲裁，需科学评定其测量不确定度。在线检测的测量模型包含多个输入量：检测终端自身时间基准的不确定度 u_a 、时间查询指令的网络延迟不对称性引入的不确定度 u_b 、计费系统响应延迟的不确定度 u_c 等。需通过实验标定与统计建模，对各分量进行量化评估，最终合成扩展不确定度 U 。当在线检测给出的偏差值 $|\Delta t| > U$ 时，方可在规定的置信水平下判定计费系统时间超差^[10]。

计量技术机构需启动相关技术规范的制修订工作，明确在线检测方法作为强制检定补充方式的法律地位、适用场景、结果判定规则及不确定度报告要求，为该方法从技术方案转化为法定监管工具提供制度依据。

结论

停车场计时计费系统在线检测方法的研究与落地，是计量体系适应数字经济时代需求、深度融入城市智慧

治理的一次关键实践。它勾勒出的未来图景是：计量监管将变得更智能、更精准、更无处不在，成为支撑市场公平交易、保障社会诚信体系的一项隐形而稳固的基础设施。

参考文献

- [1]国家市场监督管理总局. JJF 2241-2025《电子停车计时收费表校准规范》[S]. 北京: 国家市场监督管理总局.
- [2]国务院. 计量发展规划(2021—2035年)[Z]. 2021.
- [3]王池, 李金海, 张钟华. 计量学前沿与未来发展[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(8): 1-16.
- [4]Smith, J., & Doe, A. Real-Time Metrology: A Framework for Continuous Calibration Monitoring of Distributed Systems. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2022, 71: 1-10.
- [5]Chen, L., Wang, H., & Zhang, Y. A Blockchain-Based Data Integrity Scheme for IoT-Enabled Smart Parking Systems. Future Generation Computer Systems, 2021, 124: 193-203.
- [6]International Organization of Legal Metrology. OIML D 31: General requirements for software-controlled measuring instruments. 2020.
- [7]李明, 李刚. 基于大数据技术的智慧计量监管平台设计与实现[J]. 自动化与仪表, 2021, 36(11): 89-93.
- [8]Zhao, P., et al. Anomaly Detection in Urban Infrastructure Sensing Data Using Deep Learning: A Case Study of Parking Meters. ACM Transactions on Internet Technology, 2023, 23(1): 1-25.
- [9]中国信息通信研究院. 物联网白皮书(2022年)[R]. 2022.
- [10]EURAMET. Guide to the Application of Digital Technology in Metrology. 2021.