



XXXX

基于近场感知的配用电终端智能化现场运维方法研究

摘 要：在配电与计量现场作业中，传统依赖人工识别和记录信息的方式效率较低、容易出错，难以满足大规模终端精益化运维的需求。本文提出一种基于近场感知的智能化现场运维方法。研究利用蓝牙、扫码等近距离通信技术实现终端自动识别，同时在移动端集成设备重启、校时、进程检测、连接点切换等运维工具，构建便携化、可视化的现场运维体系。进一步设计近场容器管理机制及SIM卡信息识别方法，以提升现场作业的准确性与闭环能力。实际部署结果显示，该方法可将设备识别与建档时间缩短约60%，现场工单处理效率提升约35%，有效降低运维对人工经验的依赖，促进配用电终端现场运维的智能化提升。该方法在实现层面涵盖终端识别、工单关联、异常处置及分级改造等关键环节，并从工程应用角度分析了其成本收益、应用价值、研究局限与后续研究方向。

关键词：近场感知；配用电终端；现场运维；智能化运维；工单管理

中图分类号：TP393

文献标志码：A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.

An Intelligent Field Operation and Maintenance Method for Distribution and Utilization Terminals Based on Near-Field Sensing

Abstract: In distribution and metering field operations, traditional operation and maintenance approaches that rely on manual device identification and information recording suffer from low efficiency and high error rates, making them inadequate for large-scale and refined management of power distribution and utilization terminals. To address these issues, this paper proposes an intelligent field operation and maintenance method for distribution and utilization terminals based on near-field sensing. Bluetooth broadcasting and QR code scanning are employed to achieve automatic terminal identification, while essential operation tools, including device rebooting, time synchronization, process detection, and access point switching, are integrated into mobile terminals to establish a portable and visualized field operation framework. Furthermore, a near-field container management mechanism and SIM card information identification method are designed to unify terminal identification, work order association, and operation execution, thereby improving operational accuracy and closed-loop capability. Field deployment and experimental results demonstrate that the proposed method can reduce device identification and registration time by approximately 60% and improve on-site work order processing efficiency by about 35%, effectively reducing reliance on manual experience and enhancing the intelligence level of field operation and maintenance for distribution and utilization terminals. This method addresses key aspects such as target identification, work order association, anomaly resolution, and hierarchical transformation at the implementation level. Furthermore, it analyzes the cost-benefit analysis, application value, and future re-

收稿日期：XXXX-XX-XX；修回日期：XXXX-XX-XX

基金项目：广东电网有限责任公司信息化建设项目，（编号：030000HK24120089）。



search directions from an engineering application perspective.

Key words: Near-Field Sensing, Distribution and Utilization Terminals, Field Operation and Maintenance, Intelligent Operation and Maintenance, Work Order Management

1 引言

伴随着新型电力系统、能源互联网的不断发展,配用电信息采集系统正朝着终端泛在部署、业务精细化方向发展。大量专变终端、集中器、采集终端分布在台区和用户侧,形成了以现场终端为节点的分布式运行体系,给用电信息采集和业务协同提供基础支撑^[1-2]。以终端规模化接入、业务承载要求为研究对象,现有研究在云边协同角度下优化了计算资源配置、系统运行机制,给配用电终端稳定运行奠定了系统基础。

在此过程中边缘计算、微服务架构逐步应用在配用电系统里,以提高配用电系统在处理台侧业务的能力以及系统的灵活性。有关边缘终端运行时的数据一致性问题,有研究提出了一种面向微服务场景的数据同步机制,从而提高系统的稳定性^[3],另外有关自动化业务需求,有工作从资源弹性配置的角度对云边协同策略进行了优化设计^[4]。终端层面,依靠边缘计算能力构建起来的智能感知系统,给终端状态监测和运行管理赋予了新的技术途径^[5]。

但是随着配用电终端数量的不断增加,现场运维场景的复杂性也逐渐显现出来。终端部署环境分散,空间密集,其通信能力很大程度上取决于无线网络质量。对复杂地理环境下的配用电无线通信专网的应用进行研究,得出结论认为现场接入的稳定性仍然受多方面因素的限制^[6]。关于通信网络运行状态评价方面,已有研究提出用改进 TOPSIS 来衡量配用电通信网络运行好坏的方法^[7]。除此之外,对于物联网终端能力差异较大的问题,有研究构建了终端评测体系,给终端运行状态评价及运维决策提供依据^[8]。

运维模式随着移动终端、物联网技术的发展,现场运维也由传统的手工方式向移动化、在线化方向发展。基于物联网技术的移动运维系统已经应用于电力通信接入网,可以给工单处理及现场操作提供信息化支持^[9]。从云原生角度出发,有研究总结出智能运维架构以及关键技术,给运维系统的模块化设计提供借鉴^[10]。虽然以上研究提高了运维流程的信息化程度,但是终端密集部署的情况下,设备识别以及操作对象的选择仍然很大程度上依靠人工经验。

从支撑技术上看,网络功能虚拟化为系统功能解耦、灵活部署打下了基础^[11],边缘计算的提出使得计算能力进一步下沉到现场侧^[12],雾计算相关研究对分布式资源协同模式进行了补充^[13]。微服务架构给系统模块化演进提供成熟的软件设计范式。在设备识别方面,以蓝牙低功耗技术为基础的近场感知方法已经对资产识别、跟踪等场景进行了系统的总结,说明其在近距离设备识别上已经比较成熟^[14-15]。

从以上研究可以看出,目前的工作在配用电系统架构、通信网络、移动运维、通用支撑技术等方面已经取得了很多成果,但是大多集中在系统运行、流程信息化等层面,对于现场运维中终端自动识别、工单关联、运维操作过程的协同约束考虑较少。在终端部署密集、运维操作频繁的实际场景中,缺少对现场设备识别过程的有效约束,仍然会造成识别耗时长、误认风险高、工单闭环依赖人工等问题。

本文以配用电终端现场运维场景为出发点,用近场感知技术作为终端自动识别的基础手段,结合运维流程管理的需求,提出一种智能化的现场运维方法。此方法用多源近场信息完成终端的

快速识别和校验,在此基础上建立单一终端运维上下文管理机制,从而实现设备识别、工单关联、运维操作三者之间的协同约束。围绕提出的方法,本文构建了相应的系统架构,在现网环境中进行对比实验,从识别效率、运维效率、工单闭环能力等几个方面对方法的有效性进行验证。

2 配用电终端现场运维现状与需求分析

配用电信息采集系统中部署了大量现场终端,其稳定运行是保障电能数据准确采集和业务系统正常运行的重要基础。随着终端规模持续扩大以及部署环境日趋复杂,现场运维对象呈现出类型多样、空间分布密集和运行环境差异显著等特点,传统以人工确认为主的运维方式在效率和准确性方面逐渐暴露出不足。

从终端构成看,配用电终端主要包括专变终端、集中器以及各类采集终端,不同终端在部署位置、通信方式和运维频率方面存在差异,但普遍通过 4G/5G 公网或专网 APN 接入业务系统。在实际运行过程中,为保障终端通信与采集功能的可靠性,需要周期性或按需开展新装调试、例行巡检、故障抢修、参数核查以及通信卡更换等现场运维业务。尽管具体操作内容不同,但上述业务在流程上均包含终端识别、运行状态核查以及针对目标终端的操作执行等共性环节,其中终端识别作为运维流程的起点,对后续操作的正确性具有直接影响。

目前配用电终端现场运维仍以人工方式为主。运维人员根据工单信息到达现场,通过比对终端铭牌或者系统台账确认目标设备,完成现场操作后再回到后台系统补录信息并关闭工单。该流程对于终端数量少、部署环境简单的场合是可行的,但是在终端密集、环境受限的场合,它的局限性就逐渐暴露出来。一方面人工识别耗时长,受现场环境、人员经验影响大,存在设备误认的风险;另一方面现场可以直接获取的终端状

态信息很少,运维决策大多依靠后台系统查询,造成操作的连续性受到影响。运维记录大多以拍照或者手工填写的形式存在,过程数据分散,不能统一管理、追溯,工单闭环高度依赖人工操作,整体流程缺少有效的过程约束。

针对上述问题,现场运维对技术手段提出了更高的要求:现场环境下可以快速、自动识别目标终端,并且和工单信息建立准确的关联;在识别终端的同时获取必要的运行状态信息;支持对目标终端执行关键运维操作;运维过程和结果可以自动记录并回传到后台系统。为了便于后面方法设计、性能评价,上述需求可以用一组量化指标来表示。设终端识别成功率为。

$$P_{id} = \frac{N_{succ}}{N_{total}} \quad (1)$$

式中: N_{succ} 表示识别成功的终端数量, N_{total} 为识别尝试总数,则误认率可表示为

$$P_{err} = 1 - P_{id} \quad (2)$$

在效率维度,引入终端识别耗时 T_{id} 与建档时间 T_{rec} ,用于衡量现场识别与信息关联过程对运维流程的影响;在质量维度,则关注工单一次闭环率 P_{cl} ,用于反映识别与操作准确性对运维结果的综合影响。实际需求并非追求单一指标的极值,而是期望在识别效率、准确性和闭环能力之间取得整体改善。

在确定运维需求的时候,还要考虑到配用电终端的工程和行业约束条件。一方面存量终端数量多,终端侧改造成本、改造复杂度必须严格控制,另一方面终端计算、通信能力有限,不能使用复杂的交互机制,现场无线网络环境存在波动,对系统鲁棒性有要求。另外电力行业对于数据安全、操作合规性有严格的规定,相关技术方案要符合安全、合规的要求。上述需求与约束一起限定之后,智能化现场运维方法和系统架构的设计边界。

工程实施无须对全部存量终端一次性完成近



场化改造, 可结合运维频度、部署密度、误识别风险及资产价值实施分层部署。对于运维频繁、设备密集且易混淆的终端, 可优先配置蓝牙广播、二维码标签或SIM映射等轻量化识别能力; 对于低频运维或环境相对简单的终端, 可保留人工识别方式, 并通过平台侧台账校验逐步纳入统一管理。

3 基于近场感知的智能化现场运维方法与系统架构

为了克服传统现场运维设备识别效率低、工单与设备关联不稳定、操作过程不能形式化管理等问题, 本文提出了一种基于近场感知的智能化现场运维方法。该方法依靠创建多源近场识别模型以及近场容器化管理机制, 达成设备自动识别, 运维操作上下文绑定, 工单闭环协同, 给后续性能评价赋予方法根基。

3.1 系统总体架构

系统采用分层架构设计, 分为终端和近场标识层、移动运维终端层、运维服务层、后端平台层。各层用标准接口来解耦, 形成稳定的信息流和控制流。

图1中实线箭头表示业务数据流与识别信息流, 主要包括蓝牙广播信息、二维码解析结果、SIM身份信息、设备状态数据及工单处理结果;

虚线箭头表示控制指令流与校验反馈流, 主要包括终端操作指令、工单绑定校验、异常阻断反馈及日志回传确认信息。通过区分两类箭头, 可更清晰地表征系统“识别-校验-执行-回传”的闭环关系。

从架构上讲, 设备识别信息流是从现场终端到移动端的汇聚, 运维命令流是从移动端到终端的下发, 执行结果和日志是回传到平台侧的闭环。该结构给后面近场识别和容器管理机制提供系统支持。

从层间交互过程看, 终端与近场标识层负责输出蓝牙、二维码及SIM等近场身份特征; 移动运维终端层负责采集近场特征、完成候选终端筛选并发起人工确认; 运维服务层负责对终端身份、工单信息与操作权限进行一致性校验; 后端平台层负责维护设备台账、工单状态及日志归档。仅当终端身份与工单任务完成一致性校验后, 移动端方可向目标终端下发关键运维指令。

3.2 近场感知终端自动识别模型

在现场环境中, 设待识别终端集合为

$$\mathcal{D} = \{d_1, d_2, \dots, d_n\} \quad (3)$$

系统通过多种近场感知手段获取终端观测信息, 形成识别信息集合

$$\mathcal{I} = \{I_b, I_q, I_s\} \quad (4)$$

式中: I_b 、 I_q 、 I_s 分别表示蓝牙广播信息、二维码

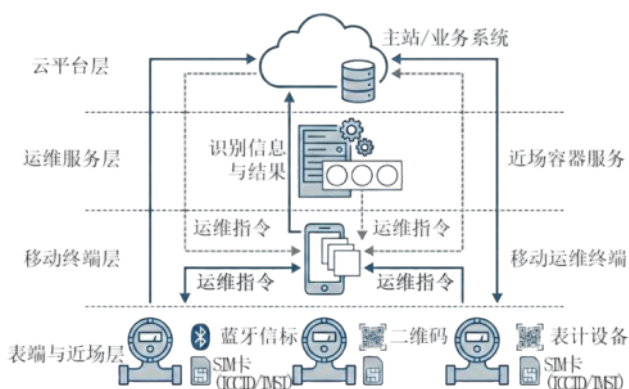


图1 基于近场感知的智能化现场运维系统总体架构

识别信息与 SIM 信息。多源近场感知的引入，一方面提升了设备识别的鲁棒性，另一方面也带来了信息不一致的问题，因此需要通过统一模型对不同信息源进行约束与融合。

(1) 蓝牙近场识别模型

对于终端 d_i ，移动端在时间窗口 Δt 内采集其蓝牙广播信号强度：

$$RSSI_i = \frac{1}{|\Delta t|} \sum_{t \in \Delta t} r_i(t) \quad (5)$$

该处理方式可以在一定程度上平滑瞬时信号波动对判定结果的影响。设近场判定阈值为 θ ，则满足的终端被视为近场候选设备。

$$RSSI_i \geq \theta \quad (6)$$

当存在多个候选终端时，系统进一步依据 RSSI 强度进行排序，选择

$$d^* = \arg \max_{d_i \in \mathcal{D}} RSSI_i \quad (7)$$

作为蓝牙识别的初始结果。该策略在终端空间分布较为集中的场景中能够有效降低误选概率。

(2) 二维码与 SIM 识别映射

二维码识别结果可表示为：

$$I_q = f_q(d_i) = (ID_i, A_i, C_i) \quad (8)$$

式中： ID_i 为终端逻辑标识， A_i 为资产编号， C_i 为校验字段。通过校验字段，可在一定程度上避免二维码损坏或误扫导致的错误识别。

SIM 信息识别结果表示为：

$$I_s = f_s(d_i) = ICCID_i \rightarrow ID_i \quad (9)$$

该映射关系由平台侧维护，适用于对终端身份一致性要求较高的运维场景。

(3) 多源融合决策模型

在多源信息并存的情况下，引入基于置信度的融合模型对识别结果进行统一判定。对每一识别源赋予权重：

$$w_b + w_q + w_s = 1 \quad (10)$$

终端 d_i 的综合置信度定义为：

$$S(d_i) = w_b \cdot \mathbb{I}(I_b = d_i) + w_q \cdot \mathbb{I}(I_q = d_i) + w_s \cdot \mathbb{I}(I_s = d_i) \quad (11)$$

该模型在保证计算简洁性的同时，能够对不同信息源的重要性进行灵活调整。最终识别结果为：

$$d^\dagger = \arg \max_{d_i \in \mathcal{D}} S(d_i) \quad (12)$$

在工程实现中，终端识别遵循“蓝牙近场发现-二维码或 SIM 二次校验-平台台账一致性比对-生成唯一运维上下文”的处理顺序。其中，蓝牙识别用于快速缩小近距离候选集合，二维码识别用于确认资产编号与逻辑标识，SIM 信息用于校验通信身份与平台登记信息的一致性；当三类信息存在冲突时，系统按照“先阻断、后复核”的原则将目标终端标记为待确认对象，以避免单一识别结果直接触发运维操作。

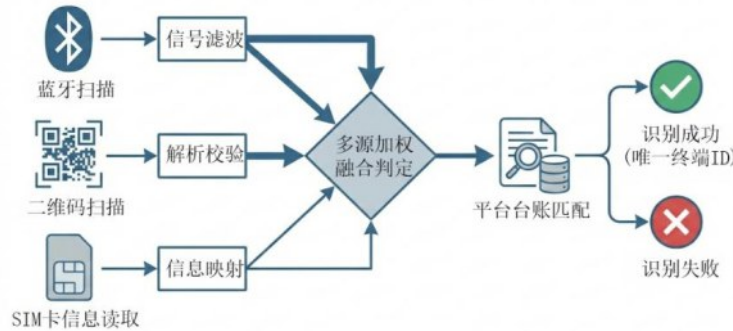


图2 近场感知终端自动识别流程图



3.3 近场容器管理机制

终端成功识别之后,系统就会创建一个近场容器来承载当前运维过程中所有的上下文信息。引入近场容器后运维操作不是以单条指令为单位进行,而是以设备、工单、人员三者关联的上下文作为执行单元来减少操作混淆的风险。

定义近场容器为五元组:

$$C = (d^\dagger, u, g, \mathcal{O}, \mathcal{L}) \quad (13)$$

式中: $d^\dagger$ 为识别终端, u 为运维人员, g 为地理位置, $\mathcal{O}$ 为可执行运维操作集合, $\mathcal{L}$ 为操作日志集合。容器生命周期状态集合定义为:

$$\mathcal{S} = \{S_{\text{create}}, S_{\text{active}}, S_{\text{suspend}}, S_{\text{finish}}, S_{\text{destroy}}\} \quad (14)$$

状态迁移函数表示为:

$$\delta: \mathcal{S} \times \mathcal{E} \rightarrow \mathcal{S} \quad (15)$$

该状态模型使运维过程具备明确的阶段划分,有助于在异常或中断情况下进行恢复和追溯。

在近场容器激活后,系统将终端唯一标识、工单编号、作业人员身份及站点位置信息写入统一运维上下文。移动端首先依据终端标识向平台侧发起工单检索,并结合工单类型、所属台区或站点、作业权限等信息进行匹配;匹配成功后生成“人员-终端-工单”三元绑定关系,后续操作、日志记录及工单回传均在该绑定关系下执行,从而保证识别对象与工单执行对象一致。

3.4 运维操作模型与交互约束

在近场容器上下文中,单次运维操作可形式化表示为:

$$o_k = (cmd_k, t_k, r_k) \quad (16)$$

式中: cmd_k 为操作指令, t_k 为触发时间, r_k 为执行结果。所有运维操作均需满足:

$$o_k \in \mathcal{O}(C) \quad (17)$$

该约束保证了运维指令只能作用于当前激活的目标终端,从系统层面避免了误操作。工单完成条件定义为:

在工单处置过程中,系统区分正常处理流程与异常处理流程两种情形。对于正常处理流程,终端完成识别并通过一致性校验后,系统建立工单绑定关系,执行相应运维操作,回传处理结果,并完成工单闭环归档。对于异常处理流程,当蓝牙、二维码与SIM信息出现冲突,或终端身份校验、工单匹配校验未通过时,系统立即阻断关键操作并转入人工复核;经复核修正后可重新进入执行流程,无法确认时则终止当前工单并保留识别日志、操作日志及时间戳信息,以支持后续追溯。

$$T_{wo} = \sum_{k=1}^m \Delta t_k, r_k = \text{success}, \forall k \quad (18)$$

3.5 安全与可靠性约束模型

在系统实际部署的环境中,存在人员误操作、通信不稳定等风险,因此将安全和可靠性约束加入到方法的设计中。

系统安全约束函数定义为:

$$\text{Sec}(o_k) = \text{Auth}(u) \wedge \text{Perm}(u, d^\dagger) \wedge \text{Sign}(cmd_k) \quad (19)$$

当且仅当安全约束满足时,操作才允许执行。为评估系统在复杂环境下的可靠性,引入操作成功率指标:

$$P_{\text{succ}} = \frac{|\{o_k | r_k = \text{success}\}|}{|\mathcal{O}|} \quad (20)$$

该指标在后续实验中用于分析识别准确性与工单闭环能力之间的关系。

4 实际部署与实验结果分析

4.1 部署环境与测试场景

实验系统在运营商现网试点区域进行部署,核心机房、接入站点、部分分布式终端场景均有涉及。测试环境中的终端类型繁杂,既有传统的通信设备,也有带有近场通信能力的物联网终端和边缘感知节点,可以较为真实的反映当前电信

网络运维场景的异构性。

在不改变原有网络结构和运维流程的基础上,增加近场感知能力,使设备能够快速识别并绑定身份。终端侧只做轻量级的信息交互,不给已有的系统增加额外的负担。部署规模以及终端类型统计结果如表1所示。

多源近场感知并不意味着所有终端均需实施同等深度的改造。对于已具备蓝牙能力或可加载轻量广播模块的终端,可直接启用近场广播功能;对于不具备蓝牙能力但台账信息完整的终端,可通过粘贴二维码标签并结合SIM卡信息映射实现识别;对于少量既不具备近场能力又不宜改造的存量终端,则保留人工识别作为补充方式。该分级部署策略有助于兼顾识别能力提升与改造成本控制。

4.2 评价指标与对比方案

实验评价围绕运维流程中识别、处理、闭环这三个关键环节展开,选择可以反映系统性能的时间指标和质量指标来进行量化分析。

从效率上看,主要考察设备识别和建档的时间以及工单处理效率;从质量上看,主要考察设备识别成功率、误认率、工单一次闭环率。对比实验采用传统人工识别方式和基于近场感知的自动识别方式,在相同的站点、终端规模下做多次

重复实验,取均值。具体的测试配置如2所示。

从工程经济性角度看,方案新增成本主要来自近场标识部署、移动端能力适配及平台映射关系维护,而非对全部终端进行硬件重构。相应收益主要体现在三个方面:其一,缩短现场识别与建档时间,降低人工核对工作量;其二,减少误识别引发的返工、误操作及重复派单成本;其三,提高工单一次闭环率,减少后台复核及二次现场处置次数。因此,在终端密集、运维频繁的场景下,该方法具有较好的投入产出合理性。

4.3 设备识别与工单处理效率分析

设备识别与建档阶段一般为运维流程中人工参与度最高、时间波动最大的阶段,其效率好坏直接决定后面工单流转的过程。

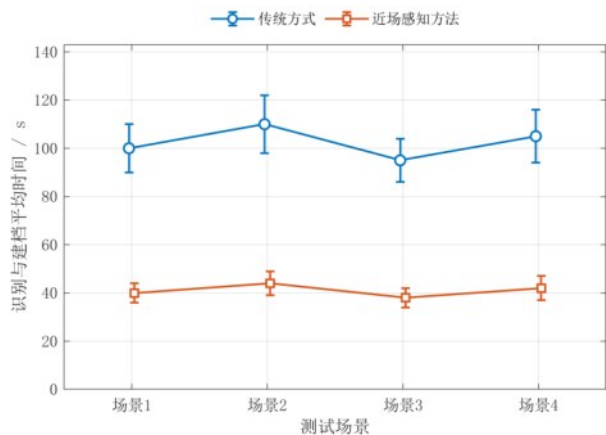


图3 不同测试场景下设备识别与建档平均时间对比

表1 部署规模与终端类型统计表

终端类型	数量(台)	典型部署位置	通信方式	是否支持近场感知
核心通信设备	42	核心机房	有线/蜂窝	否
接入层通信设备	68	接入站点	蜂窝	部分支持
物联网终端	113	室内/室外分布	蜂窝/近场通信	是
边缘感知节点	27	站点边缘区域	有线/近场通信	是

表2 评价指标与测试场景配置表

测试场景	终端密度	对比方式	评价指标	重复次数
场景1	中	传统方式 / 近场感知方式	T_{id} 、工单处理效率	10
场景2	高	传统方式 / 近场感知方式	T_{id} 、工单处理效率	10
场景3	高	传统方式 / 近场感知方式	识别成功率、误认率、一次闭环率	8
场景4	中	传统方式 / 近场感知方式	综合效率与闭环指标	8



由图3可见,传统方法下设备识别与建档时间总体分布在95到110s的区间内,近场感知方式下的时间主要分布在38到45s之间,并且各个场景下波动不大。根据多场景平均结果可知设备识别和建档时间减少了约60%。现场测试发现,近场感知机制依靠物理临近触发设备身份绑定,大大削减了人工核对和重复确认的次数,这是时间缩短的主要原因。

在此基础上,进一步分析工单处理效率。

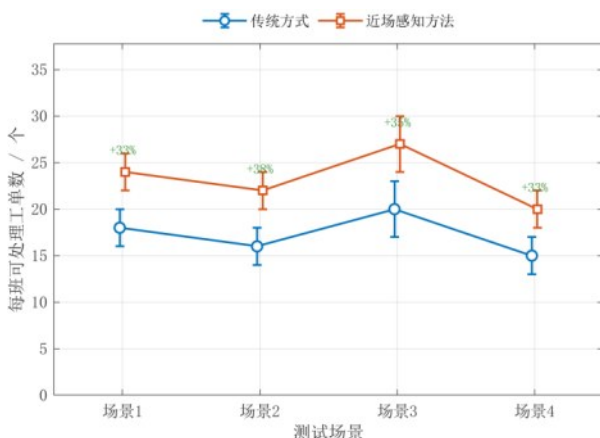


图4 不同测试场景下工单处理效率对比

如图4所示,近场感知方式在各测试场景中均表现出更高的单位时间工单处理能力,效率提升幅度约为33% - 38%。从整体上来说,设备快速识别、信息一致性提高、返工率降低三者共同提高了工单处理效率。相关的统计结果见表3。

4.4 识别准确性与工单闭环能力评估

在效率提升的同时,系统的识别准确性与工

单闭环质量同样是衡量其工程可用性的关键因素。

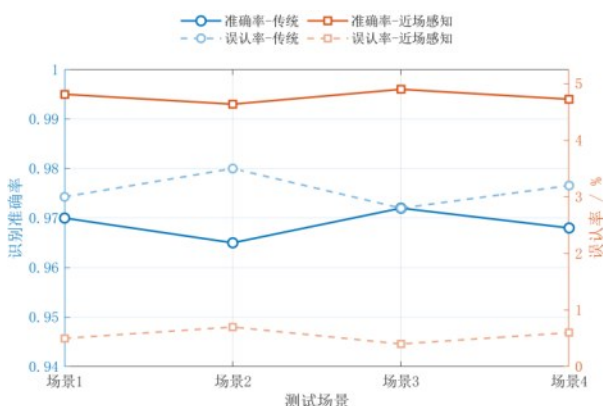


图5 不同测试场景下识别准确率与误认率对比

图5表明近场感知方式在各种测试场景下识别准确率均保持在99.3%到99.6%之间,误认率小于1%,传统方式部分场景的误认率达到3%左右。结果说明近场感知机制用物理邻近约束、SIM信息校验,有效地降低了设备混淆的风险。

进一步从运维流程末端考察系统效果。

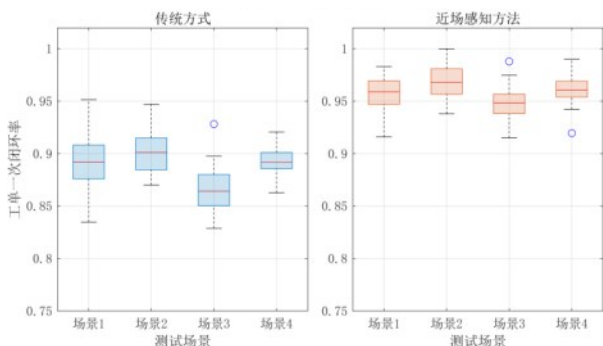


图6 不同测试场景下工单一次闭环率对比(箱线图)

图6显示近场感知方式下工单一次闭环率整体水平更高,分布更集中,稳定性更好。传统方式下出现的闭环率离散现象,主要是由于设备初始识别错误或者信息不一致造成的。

相关准确性与闭环指标统计结果如表4所示。

4.5 关键指标综合分析

为直观展示近场感知方式在多项核心指标上

表3 效率指标统计表

场景	方式	平均 T_{id} (s)	每班可处理工单数 (个)
场景1	传统方式	100	18
	近场感知	40	24
场景2	传统方式	110	16
	近场感知	44	22
场景3	传统方式	95	20
	近场感知	38	27
场景4	传统方式	105	15
	近场感知	42	20

表 4 准确性与闭环性指标统计表

方式	识别准确率	误认率	工单一次闭环率
传统方式	96.8%	3.1%	88.5%
近场感知	99.5%	0.8%	95.6%

的综合表现,对主要指标进行归一化对比分析。

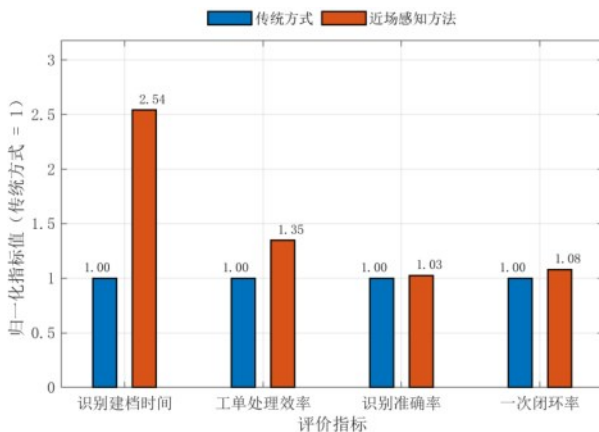


图 7 传统方式与近场感知方式关键指标综合对比

由图7可知,在传统方式的基础上,近场感知方式在识别建档时间、工单处理效率上提高最明显,在识别准确率、一次闭环率上保持稳定的提高。这说明该方法不仅可以提高运维效率,而且可以提高整个运维流程的可靠性

图7中的各项指标均用于表征综合性能,数值越大表示综合表现越优。其中,识别建档时间属于成本型指标,在综合分析中采用反向归一化处理,因此该指标值越高表明实际识别建档耗时越低。

5 结束语

本文针对配用电终端现场运维中设备识别率低、人工依赖大、工单闭环稳定性差等问题,提出了一种基于近场感知的智能化现场运维方法,并建立相应的系统架构。该方法利用多源近场感知来完成终端的自动识别和身份校验,采用近场容器化管理的方式,把设备识别、运维操作、工单过程统一约束起来,从而减少由于人工识别造成的误认风险,提高现场运维流程的可控

性、一致性。

在现网试点环境中进行对比实验得出,在引入近场感知机制之后,设备识别、建档的时间平均缩短了60%左右,工单处理效率提高了35%左右,设备识别准确率稳定在99.5%左右,误认率控制在1%以下,工单一次闭环率提高到95%以上。由上可知,所提出的方法在真实的配用电现场运维场景中可以同时达到提高效率、提高准确性的目的,证明了其工程可行性和实际应用价值。

该方法适用于配用电终端部署密集、现场环境复杂且工单处理频繁的运维场景,可为终端识别、作业约束及工单闭环提供统一支撑,具有向台区巡检、故障抢修及存量终端治理等业务场景推广的潜力。本文仍存在一定局限,如试点样本规模和终端类型覆盖范围有限,改造成本分析仍以定性讨论为主,对复杂环境下识别冲突的处置效果仍需进一步验证。后续可围绕低成本分级部署、多源近场信息自适应融合及异常工单智能处置机制等方向展开研究,以进一步提升方案的通用性与工程推广价值。

参考文献:

- [1] 屈径,刘文泽,蔡泽祥,等.配电网物联网云边协同系统计算资源双目标优化配置方法[J].电力自动化设备,2024(05):112-119.
Qu Jing, Liu Wenzhe, Cai Zexiang, et al. Bi-objective optimal configuration of computing resources for cloud-edge collaborative distribution IoT systems[J]. Electric Power Automation Equipment, 2024(05): 112-119.
- [2] 岑伯维,胡春潮,蔡泽祥,等.配电网物联网台区边缘计算终端微服务文件锁数据同步机制[J].电力系统自动化,2022,46(13):195-203.
Cen Baowei, Hu Chunchao, Cai Zexiang, et al. Microservice File Lock Data Synchronization Mechanism for Distribution Internet of Things Substation Edge Computing Terminal [J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(13): 195-203.
- [3] 刘嘉宁,苏卓,王可,等.配电网物联网自动化业务云边协同资源弹性配置方法[J].电力建设,2023,44(08):118-127.



- Liu Jianning, Su Zhuo, Wang Ke, et al. Method for Elastic Configuration of Cloud-Edge Collaborative Resources in Distribution Internet of Things Automation Services [J]. *Electric Power Construction*, 2023, 44(08): 118-127.
- [4] 陈永祺, 孔丽媛. 基于边缘计算的配电自动化终端智能感知系统设计[J]. *办公自动化*, 2025(16): 24-26.
- Chen Yongqi, Kong Liyuan. Design of an intelligent sensing system for distribution automation terminals based on edge computing[J]. *Office Automation*, 2025(16): 24 - 26.
- [5] Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, et al. Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2022, 24(1): 234 - 267.
- [6] 郭志华, 薛晓慧, 厉娜, 等. 配用电无线通信专网在复杂地理环境下的应用研究[J]. *电信科学*, 2015, 31(5): 165 - 172.
- Guo Zhihua, Xue Xiaohui, Li Na, et al. Application research on wireless communication private networks for power distribution and utilization in complex geographical environments[J]. *Telecommunications Science*, 2015, 31(5): 165 - 172.
- [7] 孟玲莉, 陈宁宁, 王江, 等. 基于改进 TOPSIS 的配用电通信网性能评估方法[J]. *电信科学*, 2014, 30(4): 167 - 172.
- Meng Lingli, Chen Ningning, Wang Jiang, et al. Performance evaluation method for power distribution and utilization communication networks based on improved TOPSIS[J]. *Telecommunications Science*, 2014, 30(4): 167 - 172.
- [8] 谢金凤, 严涵琦, 邓炳光, 等. 物联网终端评测体系发展研究[J]. *电信科学*, 2021, 37(2): 63 - 70.
- Xie Jinfeng, Yan Hanqi, Deng Bingguang, et al. Development of an evaluation system for Internet of Things terminals[J]. *Telecommunications Science*, 2021, 37(2): 63 - 70.
- [9] 蒋海明, 夏丹妮, 刘媛, 等. 基于物联网技术的电力通信接入网的移动运维系统[J]. *电信科学*, 2018, 34(10): 170 - 180.
- Jiang Haiming, Xia Danni, Liu Yuan, et al. Mobile operation and maintenance system for power communication access networks based on IoT technology[J]. *Telecommunications Science*, 2018, 34(10): 170 - 180.
- [10] 薛龙, 陆钢, 周奇, 等. 面向云原生的智能运维架构和关键技术[J]. *电信科学*, 2020, 36(12): 105 - 112.
- Xue Long, Lu Gang, Zhou Qi, et al. Cloud-native intelligent operation and maintenance architecture and key technologies[J]. *Telecommunications Science*, 2020, 36(12): 105 - 112.
- [11] Mijumbi R, Serrat J, Gorricho J L, et al. Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2022, 24(1): 443 - 474.
- [12] Satyanarayanan M. The emergence of edge computing[J]. *Computer*, 2022, 55(1): 30 - 39.
- [13] Mouradian C, Naboulsi D, Yang R, et al. A comprehensive survey on fog computing: State-of-the-art and research challenges [J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2022, 24(1): 1 - 32.
- [14] Pahl C, Jamshidi P. Microservices: A systematic mapping study [J]. *Journal of Systems and Software*, 2022, 179: 111005.
- [15] Alsaffar A A, Rashid M, El-Maleh A, et al. BLE-based indoor localization and asset tracking: A survey on advancements, challenges and applications[J]. *IEEE Access*, 2023, 11: 46691 - 46715.