

基于物联网的智能电表数据采集与异常检测方法

王翰林

西安理工大学

摘要: 针对当前智能电表数据采集存在延迟高、能耗大、兼容性差,以及异常检测方法灵敏度不足、误报率偏高、适配性不强等问题,本文结合物联网技术架构,系统探讨智能电表数据采集与异常检测的技术基础,分析现有方法的局限性,提出一套基于物联网的智能电表数据采集与异常检测优化方案。为智能电网的高效运维提供技术支持。

关键词: 物联网; 智能电表; 数据采集

DOI: 10.65976/3078-8145.2026.02.022

引言

在“双碳”目标与智能电网建设的双重驱动下,电力系统正朝着数字化、智能化、高效化方向转型,智能电表作为电力数据采集、传输与分析的核心载体,已广泛应用于居民用电、工业用电等各类场景,其运行质量直接关系到电力数据的真实性、完整性与实时性,进而影响电力调度、负荷预测、电费结算及供电服务的优化升级。传统智能电表数据采集多采用单一通信模式,存在数据传输延迟高、能耗高、覆盖范围有限等问题,难以适配大规模、多场景的电力数据采集需求。现有异常检测方法多基于单一数据特征进行判断,对复杂场景下的隐性异常识别能力不足,误报率、漏报率偏高,无法及时发现电表故障、用电异常等问题,易引发电力浪费、供电安全隐患等风险。

1 物联网与智能电表数据采集及异常检测基础

1.1 物联网技术在智能电表数据采集中的应用架构

物联网技术在智能电表数据采集中的应用,核心是构建“感知层-传输层-平台层”的分层式应用架构,实现智能电表数据的全流程采集、传输与初步处理,各层协同工作,确保数据采集的实时性、准确性与可靠性,适配不同场景下的电力数据采集需求。

感知层是数据采集的基础,由智能电表终端、感知传感器以及数据采集模块构成,主要作用是做到电力数据的实时采集以及初步预处理。智能电表终端是核心感知设备,可以实时收集用户的用电量、电压、电流、功率因数等关键数据,而且集成温度、湿度传感器,做到电表运行环境参数的收集,数据采集模块要对收集到的原始数据展开去噪、归一化等初步处理,剔除无效数据,从而减小之后的数据传输以及处理的压力,保证数据的完整性^[1]。感知层也采取模块化设计,依照不同应用场景的需求,可以灵活地添加或者减少

感知设备以及采集模块,从而改善架构的适配性。

传输层是数据传输的主要纽带,要将感知层所得到的数据及时传送到平台层,它的传输性能会直接影响到数据采集的实时性以及稳定性。结合智能电表的应用场景特点,传输层采用“无线+有线”的混合传输模式,做到传输效率以及覆盖范围的兼顾:针对居民小区等密集型场景,采用WiFi、ZigBee等短距离无线传输技术,有着部署灵活、能耗低、成本低的优势,可以做到电表数据的快速传输,对于工业园区、偏远区域等大范围场景,采用NB-IoT、LoRa等低功耗广域网技术,具有覆盖范围广、抗干扰能力强、功耗低的特点,可以解决偏远区域电表数据传输困难的问题,同时,保留有线传输接口,用于特殊场景下的数据备份以及应急传输,保证数据传输的可靠性。

平台层是数据处理与管控的核心,负责对传输层传输的数据进行集中处理、存储与管理,为后续异常检测、数据分析提供支撑。平台层主要包括数据存储模块、数据处理模块、设备管理模块。其中,数据存储模块采用分布式存储技术,可实现海量电力数据的安全存储,支持数据的快速查询与调用;数据处理模块对采集到的数据进行进一步的清洗、整合与分析,提取关键数据特征,为异常检测提供数据支撑;设备管理模块实现对智能电表、感知设备、传输设备的远程管控,实时监测设备运行状态,及时发现设备故障,确保采集系统的正常运行。

1.2 智能电表数据特征及异常类型分析

智能电表数据作为电力系统运维与用户用电分析的核心依据,具有鲜明的特征的同时,其异常类型呈现多样化特点,明确数据特征与异常类型,是开展数据采集优化与异常检测方法设计的前提。

智能电表数据主要包括用电数据与设备运行数据

两大类,其核心特征可概括为三点:一是实时性,智能电表需实时采集用户用电数据与设备运行数据,确保数据能够及时反映用户用电状态与电表运行状态,为电力调度、异常检测提供及时支撑;二是海量性,随着智能电表的广泛普及,单台电表每小时可产生数十条甚至上百条数据,大规模部署后将形成海量电力数据,对数据采集、传输与处理的效率提出了较高要求;三是多样性,数据类型涵盖用电量、电压、电流、功率因数、电表运行温度、通信状态等,不同类型数据的采集频率、数据格式、精度要求存在差异,增加了数据采集与异常检测的复杂性^[2]。

结合智能电表的实际运行场景,其数据异常主要分为三类,分别是用电异常、数据传输异常与设备故障异常,各类异常的表现形式与产生原因存在明显差异。用电异常是最常见的异常类型,主要表现为用电量突变、用电时段异常、功率因数异常等,产生原因包括用户窃电、用电设备故障、用电习惯突变等,用户窃电会导致用电量突然下降,工业用户设备故障可能导致用电量骤增;数据传输异常主要表现为数据延迟、数据丢失、数据失真等,产生原因包括传输网络中断、信号干扰、传输协议不兼容等 NB-IoT 网络信号受遮挡会导致数据传输延迟,传输过程中受到电磁干扰会导致数据失真^[3];设备故障异常主要表现为电表运行参数异常、电表无法正常采集数据等,产生原因包括电表硬件故障、软件故障、运行环境恶劣等,例如,电表传感器故障会导致电压、电流数据采集不准确,电表软件故障会导致数据无法正常上传。

明确智能电表数据的核心特征与异常类型,可针对性地优化数据采集方案,设计适配的异常检测方法,提升数据采集的针对性与异常检测的精准度,为后续方法优化设计提供基础。

2 基于物联网的智能电表数据采集与异常检测方法优化设计

2.1 物联网架构下智能电表数据采集优化方案

感知层运用场景化模块化设计,依照居民小区、工业园区、商业综合体等不一样场景的需求,设置不一样的感知设备以及采集模块:居民小区场景,设置低功耗、低成本的感知设备,采用短距离无线传输模块,主要采集用户用电数据;工业园区场景,设置高精度感知设备,加入电压、电流波动感知模块,采用长距离无线传输与有线传输相结合的方式,主要采集工业用电数据以及设备运行数据;商业综合体场景,设置高密度感知设备,做到多区域、多用户的同步数据采集,而且在感知层添加数据缓存模块,当传输网络中断时,

可以暂时保存采集到的数据,待网络恢复后再进行补传,防止数据丢失。

在传输策略优化上,采用场景适配加动态调节的混合传输策略,从而改善数据传输效率以及稳定性,削减能耗,针对不同场景挑选合适的传输技术。居民小区场景采纳 ZigBee 短距离无线传输技术,传输频率定为 1 次 /15 分钟,做到传输效率和能耗的平衡,偏远区域场景采纳 NB-IoT 低功耗广域网技术,传输频率设定为 1 次 /30 分钟,削减能耗的同时确保数据传输的可靠性,工业园区场景采用“NB-IoT+ 有线”混合传输模式,关键数据采用实时传输,普通数据采用定时传输,改善传输效率并且削减网络压力,而且加入动态传输调节机制,依照网络信号强度,数据重要性,动态调整传输频率以及传输路径。当网络信号较强时,提升传输频率,保证数据的实时性,当网络信号较弱时,降低传输频率,优先传输关键数据,防止数据丢失,当某条传输路径出现故障时,自动切换至备用传输路径,保证传输的连续性。

在数据预处理优化上,设计出多步骤的数据预处理流程,从而改善数据质量,降低无效数据的传输以及处理,在预处理流程当中主要有数据去噪、数据归一化、数据筛选这三个步骤,数据去噪运用小波变换算法,对得到的原始数据展开去噪处理,把由电磁干扰、设备误差等因素造成的噪声数据剔除出去,保证数据的准确性。数据归一化运用 min-max 归一化方法,把不同格式以及不同量级的数据转化为统一范围的数据,解决数据兼容性问题,方便之后的数据整合以及分析,数据筛选按照预设的阈值以及规则,筛选出无效数据,并且进行标记以及剔除,只传输有效数据,从而减轻数据传输以及处理的压力。

2.2 基于数据特征提取的智能电表异常检测方法设计

异常检测方法主要分为三个步骤:数据特征提取、特征融合分析、异常判断与预警,各步骤协同工作,确保异常检测的精准度与实时性。

第一步,数据特征提取,结合智能电表数据的多样性与关联性,提取三类核心特征,为异常检测提供支撑。一是用电特征,包括用电量变化率、用电时段特征、功率因数特征,其中,用电量变化率通过相邻时间段的用电量差值计算得出,反映用电量的波动情况;用电时段特征根据用户的历史用电数据,提取正常用电时段与用电峰值时段,反映用户的用电习惯;功率因数特征反映用户用电的合理性,用于判断是否存在用电异常。二是传输特征,包括数据传输延迟、

数据丢失率、数据一致性,其中,数据传输延迟通过数据采集时间与传输时间的差值计算得出;数据丢失率通过丢失数据量与总数据量的比值计算得出;数据一致性通过对比同一电表不同传输路径的 data,判断数据是否失真^[4]。三是设备运行特征,包括电表运行温度、电压电流稳定性、设备运行时长,其中,电表运行温度反映电表的运行状态,电压电流稳定性通过电压电流的波动幅度计算得出,设备运行时长用于判断电表是否存在老化故障。特征提取采用主成分分析算法,对提取的原始特征进行降维处理,剔除冗余特征,减少计算量,提升异常检测的效率。

第二步,特征融合分析,采用加权融合算法,将提取的用电特征、传输特征、设备运行特征进行融合,得到综合特征向量,避免单一特征导致的检测偏差。首先,根据各特征的重要性,分配不同的权重:用电特征与设备运行特征直接反映异常情况,权重分配为0.35;传输特征反映数据采集的可靠性,权重分配为0.3;其次,对各特征进行标准化处理,确保各特征处于同一量级,避免权重分配不合理导致的融合偏差;最后,通过加权求和的方式,将各特征融合为综合特征向量,综合反映智能电表的运行状态与数据情况。

第三步,异常判断与预警,基于融合后的综合特征向量,采用阈值判断与趋势分析相结合的方式,实现异常的精准判断与及时预警。首先,根据历史正常数据,建立各特征的正常阈值范围与综合特征向量的正常区间;其次,将实时采集并融合后的综合特征向量,与正常区间进行对比,若超出正常区间,则初步判断为异常;同时,结合数据趋势分析,判断异常是否为临时性波动,避免误判;最后,根据异常类型的不同,发出不同等级的预警:用电异常与设备故障异常发出一级预警,提醒运维人员及时排查;数据传输异常发出二级预警,自动调整传输策略,若异常持续,再通知运维人员处理。此外,建立异常记录与追溯

机制,对检测到的异常情况进行详细记录,包括异常时间、异常类型、异常特征等,为后续运维优化提供依据。

该异常检测方法通过多特征融合分析,充分考虑了智能电表数据的关联性与多样性,有效解决了现有方法单一、误报率高、隐性异常识别能力不足等问题,可实现对各类异常的精准识别与及时预警,为智能电表的高效运维提供支撑。

3 结论

本文针对物联网技术在智能电表数据采集以及异常检测上的应用,得到以下结论:物联网分层架构能够有效解决传统采集方式覆盖有限以及兼容性差等问题,借助场景化适配以及模块化设计来达成高效数据采集,并且给异常检测给予高质量数据支撑,智能电表数据具有实时性、海量性以及多样性等特点,其异常类型分为用电异常、传输异常以及设备故障异常,明确其特征是改进采集以及检测方法的前提。

本文设计的优化方案借助架构适配、传输策略动态调节以及数据预处理,从而大大改善数据采集的实时性、稳定性以及节能性,并且基于多特征融合以及阈值判断的异常检测方法,做到对各类异常的精准识别,从而减少误报以及漏报率,而且可以及时发现用电异常、设备故障以及传输异常,给予智能电网运维给予技术支持。

参考文献:

- [1] 张文宇. NB-IoT 在低压配电网智能电表数据采集中的优化部署 [J]. 通信电源技术, 2025, 42(22): 73-75.
- [2] 鲁新富. 浅谈智能电表数据采集终端设计 [J]. 数码设计 (电子版), 2023(6): 0144-0146.
- [3] 王欢, 尹潇. 智能电表的数据采集与故障原因分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(10): 102-103.
- [4] 杨虹媛, 于洋. 智能电表数据采集异常识别与故障诊断方法改进 [J]. 大众标准化, 2025(18): 113-115.