

低压配电网非技术线损的检测探究

杨董韵, 周 乐

(国网江苏省电力有限公司泗洪县供电分公司, 江苏 宿迁 223900)

摘要 为有效解决低压配电网的非技术线损问题, 本文将低压配电网作为对象, 详细分析 SVM、SENS 等常见的非技术线损检测方面的不足之处, 提出将 SVM、SENS 整合到非技术线损检测当中, 以为电网行业相关人员提供技术参考。

关键词 低压配电网; 非技术线损; 线损检测

中图分类号: TM72

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2023)10-0040-03

如果低压配电网出现非技术损失 (Non-Technical Loss, NTL), 会增加其运行成本, 对输送的电力资源质量造成负面影响。考虑到电力盗窃是最常见的 NTL 现象, 本文仅从这个角度分析低压配电网的 NTL, 并提出结合 SVM (Support Vector Machine, 支持向量机) 模式与 SENS (Sensitivity, 灵敏度) 模式的 NTL 集成化检测系统, 合理完成低压配电网 NTL 的检测任务。

1 NTL 集成化检测系统

对于 SVM 模块, 其是根据智能电表有功功率测量数值, 检测是否存在 NTL 情况。SVM 模块会对用户用电特征做提取处理后, 利用相应的算法, 对于每个用户的年度用电量时间序列进行分析, 确认用户是否发生窃电行为。对于 SVM 模块, 其使用基本功能是对用电时间序列突变情况进行检测, 并分析发生这种突变情况的具体时间点。对于 SVM 模块的输出, 即各个用户可能出现窃电行为的发生概率, 以及发生窃电行为的时间节点; 对于 SENS 模块, 其利用估算低压配电网的灵敏度, 从而检测当前存在 NTL 情况的用电设备。但是, 如果有功率存在测量误差, 则会对 SENS 模块计算数据的准确性造成一定程度的负面影响。对于 SVM 模块, 其可以有效捕获低压配电网电压值畸变下的窃电行为, 例如低压配电网电压噪声增加等。对于 SENS 模块, 其可以检测到用户时间序列没有用电量突变情况的窃电行为^[1]。因为 SVM 模块与 SENS 模块在应用属性方面存在差异, 工作要求不同, 基本可以囊括所有类型的窃电行为, 可以选择对 SVM 模块与 SENS 模块的输出结果做相应的加权相乘处理, 即可获得 SVM 模块与 SENS 模块的应用优点, 以集成化系统方式高效完成低压配电网非技术线损的检测任务。对于 SVM 模块输出 wiSVM, 代表用户出现窃电行为的概率, 处于 0~1 之间。对于 SENS 模块输出 wiSENS, 代表电压自敏感度的理论数值

与计算数值误差, 可以在 [0, 1] 范围, 针对 wiSENS 做归一化处理。通过将 wiSVM 数据与 wiSENS 数据做加权相乘基础, 即可获得 wiNTL-SYS。对于 wiNTL-SYS, 其主要负责对用户出现窃电行为的概率进行排序处理。

wiNTL-SYS 的加权乘法为公式 (1):

$$\text{wiNTL-SYS} = \text{wiSVM} \times \text{normalize}(\text{wiSENS}) \quad (1)$$

2 NTL 集成化检测系统仿真

2.1 SVM 模块

2.1.1 样本制备

对于 SVM 模块的输出权重, 代表通过用户的年度有功功率曲线, 分析用户可能出现窃电行为的概率。对于窃电行为特征, 是通过捕获每个消费者的用电行为进行数据整合获得的, 径向基函数 (RBF, radial basis function) 的 SVM, 通过一定的数据训练, 即可对用户的窃电行为进行可靠检测。对于网格搜索, 则是对 SVM-RBF 参数做优化处理 (CSVM=10, γ SVM=0.15), 利用 5 倍交叉验证, 保证 SVM 分类器可以得到良好的泛化处理, 合理规避这个过程中可能出现的过度拟合问题。对于 SVM 模块, 需要开展三种窃电行为的混合训练处理。调用数据集的 70%, 即在 2567 个用户中, 挑选其中的 1796 个用户用电数据, 将其作为训练集建立样本使用^[2]。对于数据集的 30%, 即剩余的 771 位用户用电数据, 将其作为测试集建立样本使用。将 1796 名的用户用电数据, 以随机划分方式, 划分出两组数量相同的小组, 并分别命名为窃电组、非窃电组, 构建相应的训练集。对于窃电的数据集, 则在原本的三种窃电行为基础上, 设置若干参数值, 形成多样化的混合窃电行为, 总计 48 种数据攻击, 最后获得数据样本数量为 42766 个样本的窃电数据集。对于非窃电数据集, 其数据样本数量为 889 个。为合理规避在进行 SVM 训练时出现严重的数据不平衡问题, 通过复制非窃电数

据样本方式,获得包括 85534 个数据样本的平衡训练集。将非窃电数据样本数量与窃电数据样本数量进行平衡,利用模拟训练集中不涉及的窃电行为,获取最后使用的测试集。

2.1.2 仿真分析

通过分析仿真图像,可以发现斜率参数 b 对于 SVM 模块的工作性能不会产生过于明显的影响,在小于 0.5%/天的斜率参数下, SVM 模块的工作性能则会表现略微降低。对于斜率参数 b ,其影响集中反映在用户出现窃电行为日期检测方面。在 0.5%/天的斜率参数下,日期检测最大误差为 90 天。在低压配电网发生组合窃电行为时, SVM 模块成功检测概率偏低。结合以上分析内容,可以认为在窃电系数 r 大于 30% 的条件下, SVM 模块的 AUC 超过 70%^[3]。

2.2 SENS 模块

2.2.1 样本制备

对于 SENS 模块,其负责对各个时间窗口的各个消费者发生窃电行为的概率进行计算。现将时间窗口长度设定为 $5 \cdot N$,其中的 N 是网络节点数量。可能会对 SENS 模块工作性能造成影响的参数为网络节点数量 N ,窃电量百分比 a_t ,窃电用户百分比 f 。先设置一个仿真低压配电网的试验场景,对于 SENS 模块运行情况进行测试。在这个试验场景中, $N=87$,即拥有 87 个网络节点 $C=48$,即拥有 48 个消费者,以此搭建一个具有相对随机特性的低压配电网。对于 $f=5%$,这部分消费者拥有第一种窃电行为的行为特征,其 a_t 处于 20%~90% 之间,并且在窃电行为发生时间方面,也具有较大的随机性。分析数量在 30 节点~210 个节点之间的具有随机特性的低压配电网,分析电网建设规模与窃电用户数量对于 SENS 模块运行产生的影响。在整个试验中,将以第一种窃电行为作为模拟对象,即基本窃电。

2.2.2 仿真分析

对于窃电用户的比率 f ,设置为 50%,对于窃电用户的窃电行为开始时间 T_{start} ,则设定为随机模式,对于差值 ΔW_{SENS} 进行计算,整理为图 1A。通过分析仿真结果,可以发现 SENS 模块的使用性能不会受到低压电网建设规模的影响。同时,SENS 模块可以对 a_t 超过 30% 的用户窃电行为做有效检测。在 10%~90% 范围内,对 f 值进行调整,同时就 a_t 设置成 50%,以此分析发生窃电行为的用户数量对于 SENS 模块运行产生的影响。在试验中,节点数 N 在 30~210 范围内进行随机选择,时间步长设置成 30。针对 N 的每个数值,进行 5 个随机低压配电网的模拟作业,将其整理为图 1B 内容。可以发现,在试验期间, ΔW_{SENS} 一直保持在 72% 以上,

可以证明 SENS 模块的工作性能并不会受到发生窃电行为为用户数量的影响,网络节点数量也不会成为严重的干扰源,针对 SENS 模块准确性做量化试验,以此分析 SENS 模块的使用性能。将试验节点 N 控制在 30~210 范围内,并将时间步长设置为 30^[4]。同样,针对 N 的每个数值,进行 5 个随机低压配电网的模拟作业,将试验获得的理论自敏感度数值与计算自敏感度数值的最大相对误差整理为图 1C。可以发现,即便是数量超过 150 个节点的低压配电网,自敏感度数值与计算自敏感度数值之间的最大误差仍处于较低水平。对于电压测量噪声,即信噪比产生的影响,整理为图 1D。可以发现,在不断提升电压噪声时,SENS 模块的工作性能正在逐步降低。可以认为信噪比在超过 40dB 时,提升计算灵敏度的测量次数,则可以将最大相对自灵敏度误差控制在 10% 以内。

2.2.3 仿真分析

对于窃电用户的比率 f ,设置为 50%,对于窃电用户的窃电行为开始时间 T_{start} ,则设定为随机模式,对于差值 ΔW_{SENS} 进行计算,整理为图 1A。

2.3 NTL 集成检测系统

针对集成 SVM 模块与 SENS 模块的 NTL 集成检测系统,可以进行相应的性能指标测试。采用 50% 的实验窃电数据与 50% 的实验正常用电数据,前者由随机参数在低压配电网运行条件下模拟生成,后者整合地区用户用电数据,数量为 500 个,选择数据模式为随机选择。在低压配电网非技术线损检测 ACC (Accuracy, 准确率) 方面,NTL 集成化检测系统为 99.4%,SVM 为 91.2%,SENS 为 99.4%。在 AUC (Area Under Curve, 曲线下面积) 方面,NTL 集成化检测系统为 99.9%,SVM 为 93.7%,SENS 为 99.9%。通过以上数据,可以证明本文设计的 NTL 集成化检测系统在使用性能方面比 SVM 强,和 SENS 相似,可以证明 NTL 集成化检测系统的使用优异性^[5]。

3 NTL 集成化检测系统应用讨论

将本文设计的 NTL 集成化检测系统和常见的低压配电网非技术线损检测方法进行对比。在检测延迟方面,NTL 集成化检测系统为数小时~数个月,SVM 为数月,SENS 为数小时;在新窃电行为的适应能力方面,NTL 集成化检测系统表现为中,SVM 表现为低,SENS 表现为高;在建设成本方面,NTL 集成化检测系统为中等投入,SVM 为低等投入,SENS 为中等投入在可伸缩性能方面,NTL 集成化检测系统为中等水平,SVM 为高等水平,SENS 为中等水平。在这几种偏主观的评价指标中,可以发现 NTL 集成化检测系统的整体表现效果要比 SVM 与 SENS 更好。因为 SENS 模块在检测延迟、新窃电行

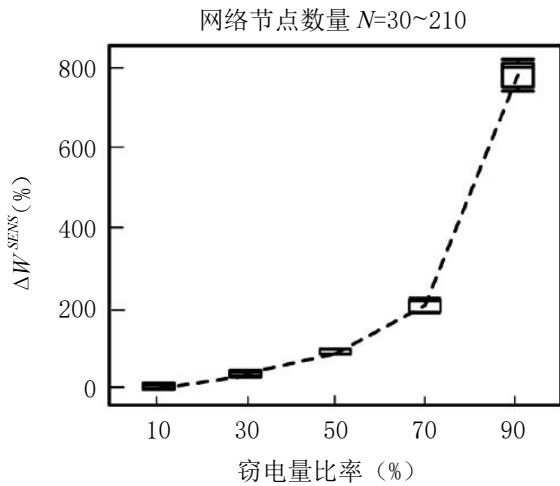


图 1A

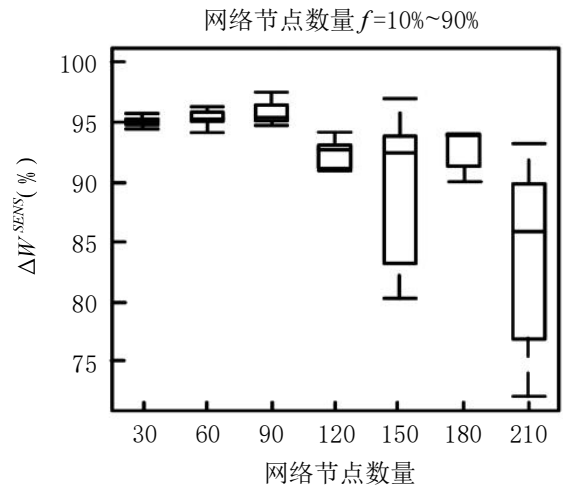


图 1B

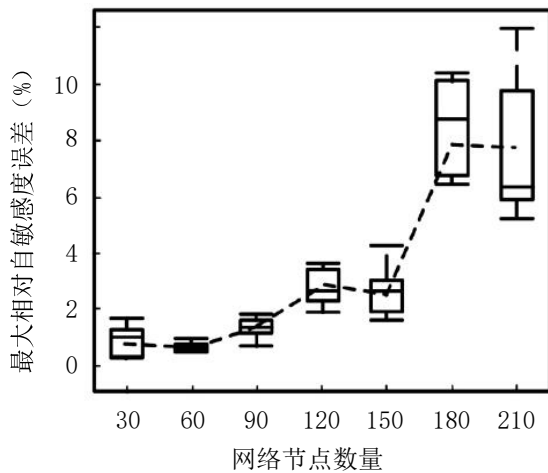


图 1C

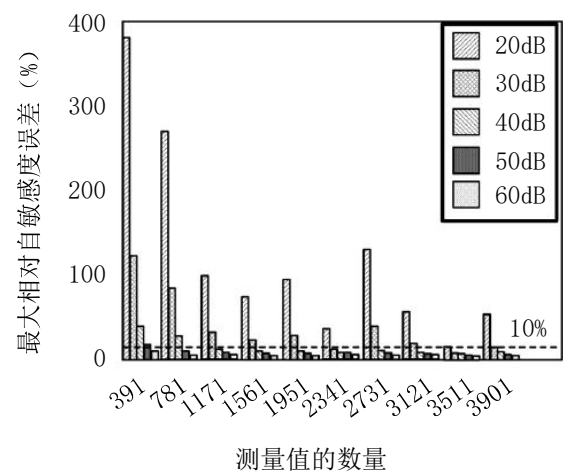


图 1D

图 1 SENS 模块的仿真结果

为适应性方面表现良好；对于运行成本方面，其涉及设备的基础安装成本，以及后续的运营维护成本。考虑到智能电表是低压配电网的常规仪器设备，拥有较高的普及率，基本可以忽略这方面的成本。对于变压器低压侧的即时有功、无功测量，可能需要一定的运行成本；而 SVM 模块可以实现批量化处理上千个用户数据，让 NTL 集成化检测系统拥有较为灵活的伸缩性能。

4 结语

在开展低压配电网非技术线损检测时，需要先分析低压配电网非技术线损当前情况，结合本文理论内容，设计一套匹配低压配电网运行需求的非技术线损检测方案。在方案执行过程中，需要根据一线工作人员实际工作反馈情况，对方案细节内容做合理优化，

确保非技术线损资源得到更合理的应用，提升低压配电网的运行稳定性，助力地区经济的可持续运行。

参考文献:

- [1] 张锡活.0.4kV 配电网线损管理及降损策略[J].农村电气化,2022(11):92-93.
- [2] 俞晓荣.基于遗传算法的配电网线损自动计算方法[J].自动化应用,2022(10):4-7.
- [3] 张科,王虎,魏良成.配电网规划引领线损管理质效提升[J].中国电力企业管理,2022(29):38-39.
- [4] 孙文科.配电网的技术线损与应对措施分析[J].电子技术,2021,50(11):238-239.
- [5] 管强,黄宗丰.低压配电网中非技术线损的检测系统[J].电气自动化,2021,43(03):29-32.