

改进灰色关联分析在台区智能识别中的应用研究

余 鹤 夏水斌 魏 伟 孙秉宇 董重重 鄢烈奇

(国网湖北省电力有限公司计量中心 武汉 430080)

摘要: 配电台区用户接线方式繁多,线路拓扑结构和特征多样化,相邻台区之间存在通信串扰的问题,导致台区识别不准确,电能表抄读失败,严重制约着台区线损的准确计算,甚至引发供用电双方的计量纠纷,为解决上述问题,确保台区识别的准确性,针对台区智能电能表线路电压特征,提出了一种改进灰色关联分析的台区识别新方法,该方法克服了现有台区识别技术中存在的不足,通过分析未识别或跨台区电能表与已明确台区归属的电能表之间线路电压的关联度,摆脱了一定的主观判断性,实现台区智能识别。经实例测试表明,该方法能在复杂环境条件下准确进行台区识别,具有较高的实用价值。

关键词: 台区识别;灰色关联分析;智能电能表;智能识别

中图分类号: TN01 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.40

Improvement on application of gray correlation analysis in intelligent transformer area recognition

Yu He Xia Shuibin Wei Wei Sun Bingyu Dong Chongchong Yan Lieqi

(Measurement Center, State Grid Hubei Electric Power Company Limited, Wuhan 430080, China)

Abstract: Distribution area users connection mode is various, circuit topology structure and the characteristics of diversification, there is communication crosstalk between adjacent transformer area, result in inaccurate transformer area recognition, electricity meter reading failure, seriously restricts the transformer area accurate calculation of line loss, and even cause electricity supply and consumption disputes, in order to solve the above problems, ensure the accuracy of transformer area recognition, According to the characteristics of the line voltage of the smart electricity meter in transformer room, a new method that improved grey relational analysis is proposed. The method overcoming the defects of the existing transformer room recognition technology, through analysis line voltage correlation of electricity meter between known and unknown or cross transformer, got rid of a certain degree of subjective judgment, realizing intelligent transformer recognition. The test results show that this method can be used to transformer room recognition accurately under complex environment, and it has great practical value.

Keywords: transformer room recognition; grey correlation analysis; smart electricity meter; intelligent recognition

0 引 言

随着电网建设的不断发展,配电网基础设施得到了很大的完善,传统的粗放管理模式难以适应时代的发展,台区精益化管理模式已成为一种趋势。台区档案的准确性作为精益化管理的重要内容,为强化计量资产管理、提高配电网供电可靠性提供了重要支撑,其意义的重要性也日渐突显。目前经常因信息记录遗失、更新不及时、信息不完全等各种原因导致台区档案出现不准确,导致部分电能表抄读失败的问题^[1],既影响了台区线损的准确计算,也会引发供用电双方的计量纠纷,对供电企业的社会形象造成了一定的

负面影响。

为保证台区档案的准确性,首先要确保对智能电能表所归属的台区进行准确识别,传统的台区识别主要依靠供电公司工作人员现场排查,即通过人工排查火线路径,确定台区属性,该方法存在着工作量巨大、无法适用于地下线缆的缺陷,随着检测手段的不断发展,后来出现了以载波通信法和脉冲电流法为基础的台区识别仪^[2-4],但是载波通信法因受共高压、共地、共电缆沟等串扰问题,载波信号会跨变压器耦合至相邻台区^[5-6],导致台区识别错误,脉冲电流法需要在变压器的出线端安装电流互感器^[2],操作上存在一定的安全隐患。为解决上述问题,文献^[7]提出了一种基于

BP 神经网络的智能台区识别方法,该方法利用 BP 神经网络模型来识别电力载波信号品质,通过对信号品质的强弱来判断台区归属,因不同台区拓扑结构、接线分支存在很大的差异性,当同一台区的电能表分支较多、接线距离较远时,通信品质会变差,该方法难以准确进行识别。文献[8]提出了一种基于数据时钟相关性的智能台区识别技术,通过数据挖掘中的分类方法将每个台区的采集设备进行归类,通过计算待识别的采集设备归属于各个分类的概率来判断其台区归属关系,该方法实现步骤较为复杂,且分类界限不明确,实现较为困难。文献[9]提出通过对智能电能表的量测数据进行灰色关联分析,以对用户所属台区及相别进行识别,由于灰色关联分析在计算关联度时各变量权重为定值,存在一定的主观判断,在复杂环境下识别结果可靠性不高。

针对上述问题,本文在文献[9]的基础上,提出采用改进灰色关联分析方法进行台区智能识别,该方法引入信息熵概念来计算关联度,摆脱了一定的主观判断性,通过利用电能表采集的线路电压进行关联度分析既可实现台区识别,又不受电力载波通信品质的影响,且实现步骤较为简单,在复杂环境条件下仍能保证识别的准确性,为台区精益化管理提供了技术支撑。通过对智能电能表线路电压的相关性进行分析,提出了改进灰色关联分析台区识别方法。

1 智能电能表数据相关性

众所周知,配电台区用户拓扑形式为辐射状,不同时刻接入电网的负荷会实时发生变化,线路电压呈现出一定的波动性,当不同的智能电能表处于同一个台区时,因电能表接线端为同一个变压器的输出,电气距离较近,电能表采集到的线路电压波动的变化趋势基本相同,如图 1 所示。

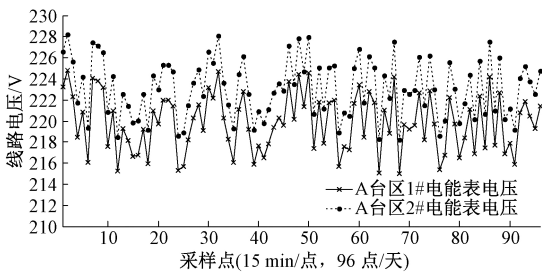


图 1 A 台区电能表电压曲线

处于不同台区的智能电能表因接线端为不同变压器的输出,电气距离较远,接入不同台区的负荷变化不同,电能表采集到的线路电压波动的变化趋势存在一定的差异性,如图 2 所示。

通过图 1、图 2 可知,利用不同电能表采集的不同时刻电压数据,选择合适的算法进行相关程度分析,即可以计算得到不同电能表电压曲线的关联度,由关联度准确地定位电能表所属的台区。

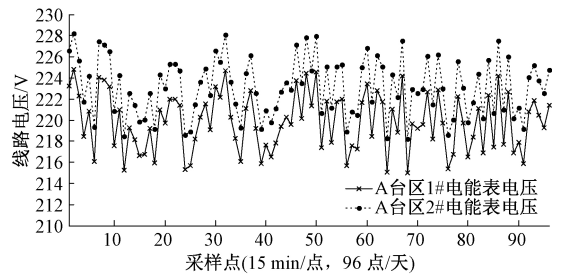


图 2 A、B 台区电能表电压曲线

2 算法分析

目前,灰色关联分析方法已广泛应用于模式识别领域,其计算复杂度低于多数的统计方法,且识别效果通常能够达到诸如神经网络、支持向量机等算法的水平,该方法特别适用于识别智能电能表归属台区,它从系统的角度研究信息之间的关系,即如何利用已知信息去揭示未知信息的研究,也就是对部分信息已清楚、部分信息不清楚的灰色系统的“白化问题”。台区实质上可以看作是一个复杂的灰色系统,其部分已明确台区归属的电能表(以下简称已知电能表)及其测量数据是已知的信息,而未识别或跨台区电能表(以下简称待识别电能表)是未知的信息,因而从系统和信息的角度讲,台区识别过程就是一个灰色系统“白化”的过程。灰色关联分析方法一般通过关联度来表述被分析对象的关联程度,本文采用该方法的目的就是寻求系统中已知电能表与待识别电能表之间的主要关系,找出电能表实际归属台区。下面就灰色关联分析方法用于台区识别中各数据的选择进行分析。

2.1 灰色关联分析

灰色关联分析算法是为了利用已知电能表所采集的台区线路电压与待识别电能表所采集的电压特征值之间的关系,确定两者之间的关联度,关联度越大,就证明所待识别与已知电能表归属于同一台区;反之,则为不同台区,关联度分析过程如下^[10-12]。

采集已知电能表、待识别电能表不同时刻线路电压特征值分别为参考序列 x_0 和比较序列 x_j , 则有:

$$\begin{cases} x_0 = [x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)] \\ x_j = [x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)] \end{cases} \quad (1)$$

式中: n 为用来分析的电压特征值样本量,也称为序列的特征数,其中的 n 取某一值 k 时, k 称为序列的第 k 个特征; j 为采用的第 j 个待识别电能表。计算已知电能表与待识别电能表电压特征值的关联系数 ζ_j :

$$\zeta_j(k) = \frac{\min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| + \rho \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)|}{|x_0(k) - x_j(k)| + \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)|} \quad (2)$$

式中: ρ 为分辨系数,其取值范围为 $[0, 1]$,通常取值为 0.5;

$\zeta_j(k)$ 为点 k 在 x_j 序列对 x_0 序列关联系数, $1 \leq k \leq n$ 。
 由于关联系数较多, 不便于比较, 因此通常采用灰色关联度这个概念来表述序列 x_j 对序列 x_0 的关联度, 记为 γ_j :

$$\gamma_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_j(k) \quad (3)$$

由于式(3)中的权重 $1/n$ 为一固定值, 存在很大的主观判断性, 无法反应各个不同点对参考点的影响程度, 在计算目标灰色关联度时, 由于不同时刻(负荷过载、轻载等)电压特征值的重要性会有不同, 基本的灰色关联算法已无法满足智能台区识别的需求, 因此, 本文引入信息熵概念, 提出采用改进灰色关联分析进行台区识别。

2.2 改进灰色关联分析

信息熵是对系统不确定性的描述, 熵值越大, 系统的不确定性就越大, 反之则越小。本文将信息熵函数引入灰色关联分析进行关联度分析, 该方法能有效克服灰色关联分析中存在的主观判断问题^[13-15]。具体步骤如下:

1) 取 $\Delta_{jk} = \{x_0(k) - x_j(k)\}$, 确定好初始矩阵 Δ :

$$\Delta = (\Delta_{jk})_{m \times n} = [\Delta_{j1}, \Delta_{j2}, \Delta_{j3}, \dots, \Delta_{jn}] \quad (4)$$

式中: n 为用来分析的电压特征值样本量; m 为待识别电能表数; $j=1, 2, \dots, m$; $k=1, 2, \dots, n$; Δ_{jk} 为已知电能表与第 j 个待识别电能表的第 k 个电压特征值的绝对值。

2) 第 j 个待识别电能表的第 k 个电压特征值出现的相对概率 p_{jk}

$$p_{jk} = \Delta_{jk} / \sum_{k=1}^m \Delta_{jk} \quad (5)$$

3) 第 k 个电压特征值的剩余度

从统计学的角度上讲, 偏差大的特征更能反应类型之间的差别, 因此可以认为差异程度越大的特征越重要。供鉴信息论中的剩余度的概念, 定义第 k 个电压特征值的剩余度为:

$$D_k = 1 - e_k \quad (6)$$

其中:

$$\begin{cases} e_k = E_k / E_{\max} \\ E_k = - \sum_{j=1}^n p_{jk} \ln p_{jk} \\ E_{\max} = \ln M \end{cases} \quad (7)$$

式中: e_k, E_k, E_{\max} 分别代表第 k 个特征的相对熵、熵及最大熵。用 1 减去相对熵, 实际上是去除第 k 个特征熵与最优特征熵值的差异, D_k 越大则说明该特征越重要, 赋予的权重应越大。

4) 第 k 个电压特征值的权重 $a_j(k)$

$$a_j(k) = D_k / \sum_{k=1}^m D_k \quad (8)$$

可以证明: $\sum_{k=1}^n a_j(j) = 1, a_j(j) \geq 0$ 。

5) 改进灰色关联分析关联度 γ_j

将式(3)中固定权重值 $1/n$ 替换为可变权重 $a_j(k)$, 可以得到:

$$\gamma_j = \sum_{k=1}^n \zeta_j(k) a_j(k) \quad (9)$$

式(9)中关联度 γ_j 越接近于 1, 则认为待识别电能表与已知电能表关联度越大, 反之, 则认为关联度越低, 通过待识别电能表与已明确的归属不同台区的电能表的关联度比较, 即可得到待识别电能表所归属的台区。

3 台区智能识别

利用上文提出的改进灰色关联分析方法对实际台区开展智能识别验证, 台区智能识别步骤如下:

1) 利用集中器或采集器等设备获取已知电能表及待识别电能表同一时段的线路电压曲线并存储;

2) 利用改进灰色关联分析方法计算待识别电能表与已知电能表的关联度 γ_j ;

3) 列出电能表关联度展示表, 分析关联度, 确定待识别电能表所归属的台区。

下面以某两个小区已知台区共 15 只电能表进行台区识别分析, 如图 3 所示, 取图中 A 台区 1# 电表、4# 电表为已知电能表, B 台区 8# 电表、15# 电表为已知电能表, 其余电能表为待识别电能表。

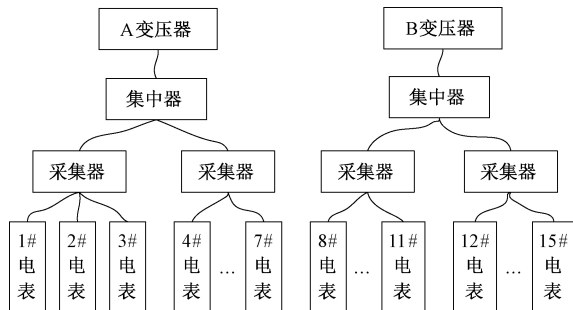


图 3 台区结构

通过采集 15 只电能表线路电压进行改进灰色关联分析, 计算得到各电能表关联度如表 1 所示。

从表 1 可以看到, 属于同一台区的电能表关联度均较高(本例中关联度大于 0.90), 不同台区电能表关联度均较低(本例中关联度小于 0.70), 不同台区之间电能表关联度会因其电气距离、负荷分布等情况的不同而变化, 本例选择的两个台区电气距离较近, 且用户类型相同, 用电行为相似, 关联度相对较高, 但也足以用于台区识别, 其他情况下不同台区电能表的关联度会更低。由前文可知 A 台区中 1# 电表、4# 电表为已知电能表, B 台区 8# 电表、15# 电表为已知电能表, 通过待识别电能表与已知电能表的关联度即可判断出待识别电能表所归属的台区。根据表 1 结果判断得到电能表 M1~M7、M8~M15 分别属于两个不同台区, 台区识别准确率达到 100%, 识别结果表明了本文提出的改进灰色关联分析方法能准确、有效地实现台区识别。

表1 A、B两台区电能表关联度

台区 表号	A台区							B台区							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
M1	1.00	0.96	0.91	0.92	0.93	0.92	0.92	0.62	0.54	0.56	0.61	0.69	0.64	0.60	0.62
M2	0.96	1.00	0.93	0.94	0.96	0.96	0.93	0.56	0.55	0.61	0.68	0.68	0.62	0.61	0.68
M3	0.91	0.93	1.00	0.92	0.96	0.92	0.96	0.58	0.56	0.68	0.63	0.62	0.64	0.66	0.67
M4	0.92	0.94	0.92	1.00	0.92	0.90	0.94	0.57	0.54	0.69	0.61	0.65	0.60	0.68	0.64
M5	0.93	0.96	0.96	0.92	1.00	0.90	0.95	0.60	0.58	0.67	0.62	0.64	0.69	0.62	0.62
M6	0.92	0.96	0.92	0.90	0.90	1.00	0.96	0.58	0.54	0.68	0.68	0.67	0.62	0.60	0.61
M7	0.92	0.93	0.96	0.94	0.95	0.96	1.00	0.54	0.55	0.68	0.63	0.62	0.61	0.58	0.65
M8	0.62	0.56	0.58	0.57	0.60	0.58	0.54	1.00	0.94	0.92	0.95	0.92	0.93	0.93	0.92
M9	0.54	0.55	0.56	0.54	0.58	0.54	0.55	0.94	1.00	0.92	0.92	0.91	0.94	0.95	0.92
M10	0.56	0.61	0.68	0.69	0.67	0.68	0.68	0.92	0.92	1.00	0.94	0.91	0.92	0.93	0.92
M11	0.61	0.68	0.63	0.61	0.62	0.68	0.63	0.95	0.92	0.94	1.00	0.92	0.92	0.95	0.94
M12	0.69	0.68	0.62	0.65	0.64	0.67	0.62	0.92	0.91	0.91	0.92	1.00	0.90	0.91	0.94
M13	0.64	0.62	0.64	0.60	0.69	0.62	0.61	0.93	0.94	0.92	0.92	0.90	1.00	0.92	0.90
M14	0.60	0.61	0.66	0.68	0.62	0.60	0.58	0.93	0.95	0.93	0.95	0.91	0.92	1.00	0.92
M15	0.62	0.68	0.67	0.64	0.62	0.61	0.65	0.92	0.92	0.92	0.94	0.94	0.90	0.92	1.00

注:M代表电能表,例如M1、M2分别代表1#电能表和2#电能表。

4 结 论

台区档案的准确性是台区精益化管理的主要内容,对强化计量资产管理、提高供电可靠性至关重要,确保档案准确性的一个关键前提是台区识别的准确性。传统的台区识别方法大多依靠人工进行现场排查,工作量较大,效率低下,且操作上存在一定的安全隐患,难以适应日益增长的用户用电需求,现有方法利用数据挖掘进行台区识别,因受到台区环境及主观判断的影响,识别结果的可靠性不高。

本文通过分析传统及现有台区识别技术中存在的不足,提出了一种改进灰色关联分析的台区识别新方法。该方法在灰色关联分析方法的基础上,引入信息熵来计算关联度,通过分析台区电能表线路电压的关联度即能实现台区识别,不受台区环境及主观判断的影响,且易于实现,具有识别效率高、不存在安全隐患等优势。通过实例验证分析表明,其在复杂环境条件下仍能准确识别,具有较高实用价值。

参考文献

- [1] 刘桐然,常晓华,冯婧. 低压载波抄表运行调试和通信技术探讨[J]. 电子测量技术, 2011, 34(12): 117-120.
- [2] 李亚. 配电网台区用户智能识别系统研究[D]. 上海: 上海电力学院, 2017.
- [3] 袁超. 低压配电网台区识别技术的研究与开发[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [4] 李建,赵汉昌. 多功能低压台区识别设备的研制[J]. 电测与仪表, 2014, 51(13): 107-111.
- [5] 薛军,王桃桃. 一种通过电压特征区分台区和相别的方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(A): 344-347.
- [6] 杨瑞. 配电网台区用户组网辨识技术的研究[D]. 西安:

西安理工大学, 2018.

- [7] 李亚,樊汝森,蒋伟,等. 基于BP神经网络的智能台区识别方法研究[J]. 电测与仪表, 2017, 54(3): 25-30.
- [8] 阿辽沙·叶,顾君,张小秋. 基于数据时空相关性的智能台区识别技术[J]. 现代电子技术, 2018, 41(4): 30-33.
- [9] 潘明明,田世明,吴博,等. 基于智能电表数据的台区识别与窃电检测方法研究[J]. 智慧电力, 2017, 45(12): 80-84.
- [10] 赵凌伟. 基于熵权灰关联和证据理论的辐射源识别方法[J]. 电子测量技术, 2017, 40(4): 34-38.
- [11] 丁硕,巫庆辉,常晓恒,等. 基于灰色BP神经网络的实验材料供应预测[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(12): 78-82.
- [12] 孙玉刚. 灰色关联分析及其应用的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.
- [13] 罗毅,李昱龙. 基于熵权法和灰色关联分析法的输电网规划方案综合决策[J]. 电网技术, 2013, 37(1): 77-81.
- [14] 张安平. 基于熵权优化灰色关联度方法的电力变压器故障诊断研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.
- [15] 葛乐,陆文伟,周志成,等. 基于改进熵权法和灰色关联分析法的变压器故障诊断[J]. 电测与仪表, 2016, 53(12): 46-51.

作者简介

余鹤,工程师,主要研究方向为电气信息检测技术、用电信息采集技术。

E-mail:20612732@qq.com

夏水斌,高级工程师,主要研究方向为电气信息检测技术、用电信息采集技术。

E-mail:23699872@qq.com

魏伟(通信作者),博士,主要从事电气信息检测技术、智能电网和智能变电站二次设备的研究。

E-mail:1036243440@qq.com