基于关联辨识的虚假电力信息快速辨识方法设计

李晓龙 [1]
LI Xiaolong

摘 要 虚假电力信息作为一种常见的网络攻击方式，因其具备极强的隐蔽性，往往能够对电力系统造成较为严重的后果。攻击者利用电网拓扑信息精心构建隐蔽性攻击向量，从而绕过传统不良数据检测机制恶意篡改量测数据，严重影响到电力 CPS 的安全稳定运行。提出一种基于双马尔科夫链的虚假电力信息快速辨识方法。利用双马尔科夫链建立电力系统的运行状态函数，以实现电力系统的运行状态感知与电力信息的提取。通过对电力信息数据样本进行关联规则挖掘，并对挖掘结果进行预处理。建立基于支持向量机的虚假电力信息快速辨识函数，将预处理后的数据输入至辨识函数中，通过支持向量机的分类算法进行辨识，得到虚假电力信息的快速辨识结果。实验结果表明，设计的方法可以精准识别配电网节点携带的虚假电力信息条数，并对节点虚假电力信息类别进行划分，辨识时间短，虚假电力信息快速辨识效果好。

关键词 双马尔科夫链；虚假电力信息；快速辨识；状态感知；关联规则；支持向量机

doi：10.3969/j.issn.1672-9528.2024.01.014

0 引言

我国电网规模不断扩大，电力工业快速发展，电网建设呈现出由早期的单一火电厂向“大电网”“大机组”“特高压”等方向发展的趋势。在这种情况下，确保电力系统在运行中的安全性、经济性和平稳性，成为电力运营单位的重要工作。为了满足这一需求，相关单位展开了大量研究，并提出了监控预警方法来监测电力系统的裕度、安全状态以及电量交易等方面[1]。同时，在考虑到电力产业的实际运营情况的基础上，明确了电力系统建模研究的重要性。

随着各地电力产业经济高速发展，社会群体和居民用户对电力企业的供电服务要求也越来越高。为了满足更多用户的需求，我国电力系统的建设规模不断扩大，系统的构成和运行模式也变得越来越复杂，这给电力系统的运行带来了一系列挑战。为了确保电能供应的连续性、稳定性和可靠性，提高运营方与管理部门的电网供能保障能力，将电力系统的自动化和智能化水平提高到更高水平成为行业发展的前提条件。

随着电力工业的快速发展，各类保护与控制系统的自动化水平正在不断提高。但在电力系统运行中，如果某个变电站在运行中反馈了虚假数据、异常数据，那么这部分虚假电力信息将会对运营管理技术人员的主观意识判断造成影响，并导致管理人员做出错误的决策与电网控制行为。在严重情况下，甚至会造成保护和控制设备的误动，从而对电网的安全造成严重的威胁。为避免此类安全事件的发生，以及虚假电力信息对电网运行造成的影响，开展了大量研究。例如翟佳等人[2]提出基于分层聚合的电力系统不良数据自动辨识。该方法根据电力系统主电路连接形式，计算分层标准与聚合指标的实际数值，完成基于分层聚合的电力系统规划。在此基础上，确定电力数据的不良程度，通过数据加权残差的处理方式，得到具体的辨识标度值，利用该值自动辨识电力系统不良数据。但该方法辨识精度不高。王渭等人[3]提出基于小波分析的电力信息通信过程不良数据辨识研究，该方法首先根据小波变换的奇异性进行局部奇异性检测，并结合神经网络算法区分正常数据和不良数据，然后使用软阈值和硬阈值去噪方法去除不良数据中的噪声信号，进而计算噪声强度并删除信号中的噪声部分。但该方法存在错误识别的情况。覃岩岩等人[4]提出基于 RBF 神经网络的电力信息网络安全态势辨识研究。通过构建 RBF 神经网络模型进行预训练，并优化隐含层节点数，按照时间不同建立时间序列模型，将获得的数据输入 RBF 神经网络，实现电力信息网络中的不良信息辨识。但该方法的辨识精度低。

虚假电力信息的制造者往往使用各种技术手段来伪造数据，使其与真实的数据没有明显区别，导致虚假电力信息辨识难度上升。所以，本文将尝试引进双马尔科夫链，设计一种针对虚假电力信息的快速辨识方法，旨在通过此次设计，保证电力系统的安全、平稳、可靠地运行，实现电力调度的

1. 国网吉林省电力有限公司长春供电公司 吉林长春 130000

自动化，确保在电网运行中对虚假信息的精准筛选、剔除。

1 电力系统运行状态感知与信息提取方法

为实现对虚假电力信息的快速辨识，在设计辨识方法前，引进双马尔科夫链，采用建立电力系统运行状态函数的方式，进行其工况和状态的感知，并提取电力信息。在此过程中，考虑到电力系统运行过程会受到多种随机变化特征的影响而存在异常，如果采用常规的方法对每一个状态量进行测量，会极大程度地降低测量结果的效率，并影响电力系统运行状态的感知结果[5]。因此，可以将电力系统作为一个整体，利用马尔科夫链分析输电节点的状态变化与转移规律，掌握电力系统的整体运行状态[6]。此过程如图 1 所示。

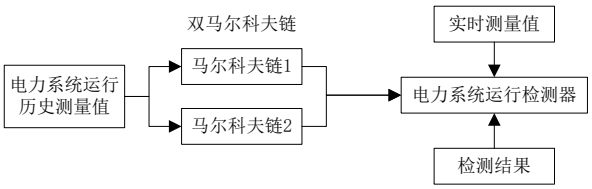

图 1 基于双马尔科夫链的电力系统运行状态感知

根据双马尔科夫链与电力系统运行检测器反馈的相关数值，生成电力系统运行状态感知函数，函数表达式为：

$$S=\sum_{n>1}^{N}s_{1,n}\cdot\alpha \tag{1}$$

式中：S 表示状态感知函数表达式；s_1 表示电力系统运行历史数据；α 表示电力系统运行状态求取期望值；n 表示电力系统第 n 种运行状态；N 表示 n 的集合[7]。首先输入电力系统当前运行工况的待检测向量，输入的数值将经过马尔科夫链，然后根据马尔科夫链提出的状态概率分布理论进行电力信息提取，此过程为[8]：

$$d=\sqrt{\sum_{n>1}^{N}\left(S-Z_n\right)} \tag{2}$$

式中：d 表示电力系统运行状态；Z 表示电力系统当前运行工况的待检测向量（状态感知函数的输入值）。输出感知结果，提取与感知结果相匹配的电力系统运行工况信息，以这种方式，实现基于双马尔科夫链的电力系统运行状态感知与电力信息提取。

2 电力信息数据样本关联方法设计

在上述设计内容的基础上，进行电力信息数据仓库的构建，数据仓库的作用是引导决策者做出正确、合理的决策[9]。而决策是否合理、积极，则依赖于数据的品质。只有当数据的可信度达到了一定水平时，通过数据挖掘获得的信息才能起到指导作用。因此，这就要求在将电力数据信息放到数据仓库前，应做好相应的准备与预处理[10]。首先将数据样本格式进行统一处理，通过这种方式得到与采样时序匹配的电力信息状态值，以及采样数据基于时间角度的变化规律。以此为依据，进行电力信息数据样本关联规则的提取[11]。此过程计算公式为：

$$a_k=\frac{\beta\left(a_{k+1}+b_k\right)}{d} \tag{3}$$

式中：a_k 表示提取的电力信息数据样本关联规则，其中 k 表示第 k 类电力信息数据样本；β 表示状态估计值；b_k 表示电力信息平滑数据的关联程度。在此基础上，进行相同类型数据的预处理。在处理中，如果数据中包含了许多详尽、冗余、庞大的信息时，就必须对这些数据进行有效的规格化处理和必要的清理。从另一个角度来说，对数据的连续属性（取值连续的属性）进行离散，也就是将数据从实型类型的属性空间映射到整型类型的属性空间的过程。此过程计算公式为：

$$M=a_k\left(L_1-1\right) \tag{4}$$

式中：M 表示电力信息数据样本的离散化处理；L_1 表示属性空间映射过程[12]。按照上述步骤，完成电力信息数据样本关联规则的挖掘与处理。

3 虚假电力信息快速辨识方法设计

完成上述相关内容的处理后，进行虚假电力信息的检测、辨识与类型划分。在电力系统运行中，从传感器采集、转换、传输到前端的系统测量数据会受到多种外部因素的影响，从而发生数据变异，而变异后产生的不理想数据被称作虚假数据[13]。这种类型的虚假数据只有在被测点出现异常时才会产生，虚假的信号或电力信息会对电力系统的全局状态估计产生很大的影响，甚至会导致系统的拓扑结构错误[14]。

因此，在进行虚假电力信息辨识时，引进支持向量机。将采集的历史时刻异常数据输入支持向量机中，对输入的数据进行训练，提取其中的特征参数，通过此种方式，得到不同类别的虚假电力信息关键参数[15]。在此基础上，对不同的特征参数设置对应的标签，同时进行支持向量机实现虚假电力信息快速辨识，基于支持向量机的虚假电力信息快速辨识函数计算公式如下：

$$Q=\frac{\|w\|}{2}-M\sum\alpha_i\left[y_i\left(w\cdot x_i+b\right)-1\right] \tag{5}$$

式中：$\|w\|$ 表示超平面的法向量 w 的范数的平方，α_i 是拉格朗日乘子，x_i 表示输入特征，y_i 表示样本的类别标签，b 表示超平面的截距。

通过这种方式，完成基于双马尔科夫链的虚假电力信息快速辨识方法的设计。

4 对比实验

随着数字化技术在电力产业中的应用，SCADA 系统开始成为电网运行中电力数据采集和监测的关键载体。在对 SCADA 采集数据进行测量和传送时，会因为一些不可抗的原因而导致传输的电力信息出现异常或缺失，这就是所谓的“虚假电力信息”。为提高电力系统状态评估的可靠性，在 SCADA 试验中，必须对少量的随机不良数据与虚假电力信息进行剔除。为实现对这方面工作的全面深化，本文开展了基于双马尔科夫链的虚假电力信息快速辨识方法设计研究。

完成此次设计后，为验证该方法对虚假电力信息的辨识精度，在理论设计内容的基础上，选择某地区大型新能源供电服务单位作为此次对比实验的试点单位，在实验前，对试点单位的供电服务模式进行分析，相关内容如图 2 所示。

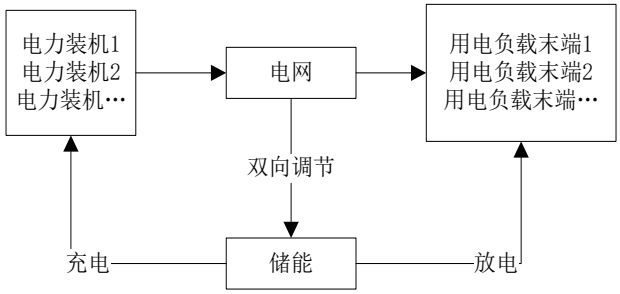

图 2 试点单位供电服务模式简图

掌握了试点单位电网运行的基本概况后，对其配电网分支拓扑结构进行分析。其配电网分支拓扑结构如图 3 所示。

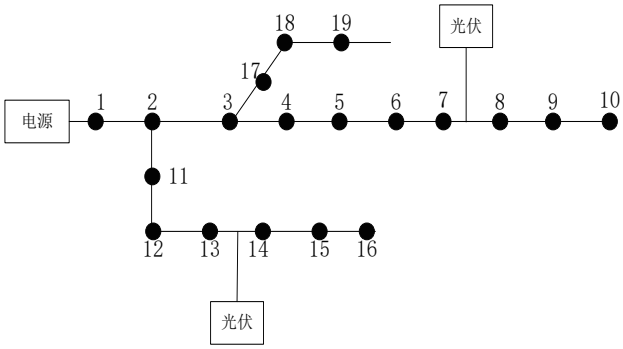

图 3 配电网分支拓扑结构

从图 3 可以看出，此配电网分支共由 19 个节点构成，将 19 个节点标注为节点（1）~ 节点（19），将此配电网接入测试机，以便后续在实验中对电网运行数据的感知。

在此基础上，为排除实验中相关因素的影响，提高实验结果的真实性、可靠性，在掌握试点单位配电网拓扑结构的基础上，对其运行中的技术参数进行分析，相关内容如表 1 所示。

表 1 配电网运行中的技术参数

序号	项目	参数
（1）	主电三相电压 /V	380
（2）	相位数	三相
（3）	控制输入电压 /VAC	220
（4）	降压变压器容量 /kVA	20
（5）	降压变比 /V	800/380
（6）	联结形式	D11，Y
（7）	电压可调范围 /V	DC50~700
（8）	输出电压精度 /%	1（>150 V）
（9）	电压纹波 /rms	<2%
（10）	交流电压频率 /Hz	50±5%
（11）	功率因数（满载状态下）	0.99
（12）	电流失真（满载状态下）	<3%
（13）	冷却方式	强制风冷

按照上述方式，完成实验中相关参数与实验条件的设计。在上述内容的基础上，使用计算机在配电网分支拓扑结构的不同节点中随机注入虚假电力信息，使用本文设计的方法，进行虚假电力信息的辨识。辨识过程中，首先引进双马尔科夫链，构建电网运行系统，以此为依据，进行电力系统运行状态的感知与电力信息的提取。然后在此基础上，挖掘电力信息数据样本关联规则，对这部分电力信息进行预处理。最后，通过对虚假电力信息的检测、辨识与类型划分，实现本文设计方法在测试环境中的应用。

为满足实验结果的对比需求，引进基于分层聚合的电力系统不良数据自动辨识方法和基于小波分析的电力信息通信过程不良数据辨识研究，分别作为实验中的对照组方法 1 和对照组方法 2，并根据对照组方法的操作规范，对在配电网分支拓扑结构中不同节点的虚假电力信息进行辨识。在已知节点注入虚假电力信息，对不同节点的虚假电力信息条数与类别进行汇总与统计，其结果如表 2 所示。

表 2 节点虚假电力信息条数与类别

注入虚假电力信息的配电网拓扑结构节点编号	节点虚假电力信息条数	节点虚假电力信息类型	信息类别编码
节点（3）	5	负荷异常信息	A
节点（7）	12	功率异常信息	B
节点（8）	18	电源异常信息	C
节点（10）	23	负荷异常信息	A
节点（12）	9	负荷异常信息	A
节点（16）	14	电源异常信息	C
节点（17）	6	功率异常信息	B

在明确不同节点虚假电力信息条数与类别的基础上，请领域专家对虚假电力信息进行评估，并与本文提出的辨识方法的结果进行对比。通过与专业人士的意见或判断进行比较，

可以进一步验证所提出辨识方法的准确性。同时，调用可靠的真实电力数据集，将这些数据用作对比基准。对比结果如表 3 所示。

表 3 虚假电力信息辨识结果

节点编号	本文方法		与领域专家的对比		与已知真实数据的对比	
	辨识虚假信息条数 / 条	辨识信息类别	辨识虚假信息条数 / 条	辨识信息类别	辨识虚假信息条数 / 条	辨识信息类别
（1）	1	A	1	A	1	A
（2）	0	/	0	/	0	/
（3）	2	C	1	C	2	C
（4）	2	C	1	C	2	C
（5）	0	/	0	/	0	/
（6）	0	/	0	/	0	/
（7）	11	B	11	B	11	B
（8）	13	C	13	C	14	C
（9）	1	A	1	A	1	A
（10）	6	A	6	A	6	A
（11）	5	C	5	C	5	C
（12）	0	/	0	/	0	/
（13）	0	/	0	/	0	/
（14）	8	A	8	A	8	A
（15）	0	/	0	/	0	/
（16）	0	/	0	/	0	/
（17）	3	B	3	B	3	B
（18）	0	/	0	/	0	/
（19）	0	/	0	/	0	/

从表 3 所示的实验结果可以看出，使用本文方法进行电力信息辨识时，可以确保辨识的结果与真实电力数据集结果几乎保持一致。然而，仅对节点（8）所对应的电源异常信息辨识结果上存在一条未被准确识别的情况。主要原因在于在节点（8）处的电源状态数据可能存在缺失或不完整的情况，导致辨识方法无法准确识别电源的异常状态。未来，本文方法可以针对缺失或不完整的情况采取引入合适的缺失值处理方法，以补充缺失的数据。这样可以提高数据的完整性，并减少由于缺失数据而导致的辨识误差。

在此基础上，对比了三种方法的虚假电力信息辨识时间，验证这几种方法是否能够做到虚假电力信息的快速辨识，结果如图 4 所示。分析图 4 中的结果可知，随着实验次数的增加，三种方法的辨识时间均呈现显著波动变化趋势。其中，对照方法 1 的虚假电力信息辨识时间变化范围是 1.43~2.81 s，对照方法 1 的虚假电力信息辨识时间变化范围是 1.23~2.76 s，而本文方法的虚假电力信息辨识时间式中在 0.79 s 以下，说明该方法的辨识时间短，可以实现虚假电力信息快速辨识。

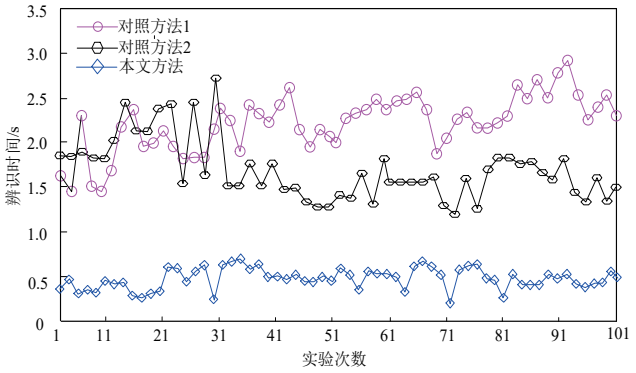

图 4 虚假电力信息辨识时间

综合上述结果，可以得出结论。相比传统方法，本文设计的基于双马尔科夫链的快速辨识方法应用效果良好且时间短，通过这种方式能够为电网的规范化运行提供技术层面的指导与帮助，提高电网运行决策管理的科学性与规范性。

5 结语

近年来，随着数理统计理论与数据处理技术的发展，人们对虚假数据的识别和去除已经有了一定的研究基础。如何在电力系统运行采集过程中，实现对知识库、数据仓库内存储的大量电力信息进行快速、精准辨识，成为了电力企业运营管理部门的关注重点。为排除并极大程度地避免电力虚假信息对电网安全运行造成的影响，提高电网决策管理行为的规范性与可靠性，本文引进双马尔科夫链，通过对电力系统运行状态感知与电力信息的提取、电力信息数据样本关联规则的挖掘与处理、虚假电力信息检测、辨识与类型划分，设计了一种针对虚假电力信息的快速辨识方法。该方法在经过对比实验测试后，证明了其可以精准识别配电网节点携带虚假电力信息条数，并可以对节点虚假电力信息类别进行划分。本次设计不仅事关电力系统的安全，也是目前国内外研究的热点。因此在后续的工作中，还将结合工程的具体情况，进行这方面内容的进一步深化研究。

参考文献：

[1] 张明 . 基于末端数据融合的电力调度运行安全风险预警系统 [J]. 电气传动自动化 ,2022,44(6):33-36.

[2] 翟佳 , 封冠华 , 张翊帆 . 基于分层聚合的电力系统不良数据自动辨识 [J]. 电子设计工程 ,2023,31(16):187-190+195.

[3] 王渭 , 马梦轩 , 王圣杰，等 . 基于小波分析的电力信息通信过程不良数据辨识研究 [J]. 自动化技术与应用 , 2022, 41(10): 129-132.

[4] 覃岩岩 , 郭舒扬 , 方雪琴 . 基于 RBF 神经网络的电力信息网络安全态势辨识研究 [J]. 电子设计工程 ,2023,31(16):143-146+152.

[5] 刘鑫 , 李磊 , 林琳 , 等 . 基于厂站 - 设备两级电力信息耦合模型的信息设备重要性评估 [J]. 电网与清洁能源 , 2022, 38(9): 112-119.

基于格签名算法的抗量子区块链数据加密方法

龙草芳 [1,2]
LONG Caofang

摘 要 为提升抗量子区块链数据加密的安全性，提出基于格签名算法的抗量子区块链数据加密方法。利用密钥矩阵生成区块链数据密钥，对部分数据分散处理，利用格签名算法对区块链数据签名，将签名与密钥整合生成区块链数据加密数字证书，利用证书对数据加密处理，以此实现基于格签名算法的抗量子区块链数据加密。实验证明，设计方法应用下抗量子区块链数据一致程度平均为 97%，平均数据加密速率为 3 115.15 byte/s，具有一定的应用价值。

关键词 格签名算法；抗量子；区块链；数据加密；安全比特；密钥矩阵

doi：10.3969/j.issn.1672-9528.2024.01.015

0 引言

区块链中存储了大量的敏感数据，包括个人身份信息、交易记录等。但因为互联网具有分布式、开放性以及随意性等特性，一些不法分子利用网络漏洞或者区块链漏洞，攻击者可能篡改数据或伪造交易，破坏区块链的可靠性和信任 [1]，造成严重的社会损失和经济损失，因此抗量子区块链数据安全问题越来越受到人们的重视与关注。数据加密作为保证数据安全的重要手段，通过对抗量子区块链中数据加密、数字签名、签名验证以及解密等一系列操作，确保抗量子区块链中数据信息的完整性、安全性以及隐私性 [2]。文献 [3] 提出基于策略隐藏的 CP-ABE 方案将访问策略隐藏，并通过区块链存储交易来保护访问控制策略的隐私性。引入分布式文件系统和区块链技术构建分布式数据存储机制，确保用户数据的完整性。当用户满足访问策略时，系统生成并发送相应的证明交易至区块链，以供验证和审计。文献 [4] 提出通过优化存储器接脚组成结构和选择 Cortex-M3 芯片作为核心处理器，构建基

1. 三亚学院信息与智能工程学院 海南三亚 572022
2. 三亚学院容淳铭院士工作站 海南三亚 572022

[基金项目] 海南省教育厅项目资助，项目编号 Hnky2023ZD-14；三亚市高校及医疗机构专项科技计划项目，项目编号 2021GXYL53；三亚学院重大专项课题（USY22XK-04）；海南省重点研发项目 (ZDYF2023GXJS007)

[7] 肖鹏，王柯强，黄振林．基于 IABC 和聚类优化 RBF 神经网络的电力信息网络安全态势评估 [J]. 智慧电力，2022, 50(6):100-106.
[8] 杨杰，郭逸豪，郭创新，等．考虑模型与数据双重驱动的电力信息物理系统动态安全防护研究综述 [J]. 电力系统保护与控制，2022,50(7):176-187.
[9] 陆孝锋，李鹏，高莲，等．基于 DKPCA 的电力信息系统虚假数据注入攻击检测方法 [J]. 电子测量技术，2022, 45(2): 91-97.
[10] 刘瑞环，陈晨，刘菲，等．极端自然灾害下考虑信息 - 物理耦合的电力系统弹性提升策略：技术分析与研究展望 [J]. 电机与控制学报，2022,26(1):9-23.
[11] 赵彦旻，袁绍山，陈宇，等．基于大数据分析的园区能源互联网电力信息管理系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表，2021(10): 169-173.
[12] 逯宝中，李庚银，王剑晓，等．计及监测与控制功能的电力信息物理系统关键输电线路辨识方法 [J]. 中国电机工程学报，2022,42(7):2556-2566.
[13] 丁斌，袁博，郑焕坤，等．基于大数据分析的电力信息系统安全状态监测技术研究 [J]. 电测与仪表，2021,58(11):59-66.
[14] 张艺伟，刘文霞，刘耕铭，等．考虑拓扑相关和双重耦合的电力信息物理系统建模与脆弱性分析 [J]. 中国电机工程学报，2021,41(16):5486-5500.
[15] 胡怡霜，丁一，朱忆宁，等．基于状态依存矩阵的电力信息物理系统风险传播分析 [J]. 电力系统自动化，2021, 45(15):1-10.

【作者简介】

李晓龙（1978—），男，吉林长春人，本科，工程师，研究方向：电力市场。

（收稿日期：2023-09-20）