

基于物联网标识技术的保护装置身份识别与信息管理方法

段佳莉, 孙羽宁, 胡静娴, 蔺维维

(国网天津市电力公司城南供电分公司, 天津 300201)

摘要: 继电保护设备数量繁多、种类庞杂。传统的纸质记录与人工管理相结合的继电保护设备运维方式存在工作量大、易出错等问题。在此背景下, 基于二维码技术在继电保护设备管理中的应用价值, 利用二维码具有容量大、尺寸小、识别率高的特点, 将其运用于二次设备运维、资产信息的存储中, 建立装置的身份识别与信息管理方法。通过记录每台继电保护设备在安装、投运、缺陷、退运等不同阶段的信息, 实现对继电保护设备的全寿命周期管理。最后, 以具体的二次设备为例, 通过二维码技术实现对设备缺陷、资产信息的存储。结果表明, 二维码技术很好地解决了人工管理存在的账实不符、效率低下的问题, 对提高继电保护现场运行维护和检修效率具有重大意义。

关键词: 二维码技术; 设备身份识别; 继电保护设备管理; 信息管理

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2021.06.025 中图分类号: TM933 文章编号: 1673-9140(2021)06-0204-07

Identification and information management method of protection device based on internet of things identification technology

DUAN Jiali, SUN Yuning, HU Jingxian, LIN Weiwei

(Chengnan Power Supply Branch, State Grid Tianjin Electric Power Co., Ltd., Tianjin 300201, China)

Abstract: The relay protection equipment has many kinds and huge number of quantities. The traditional operation and maintenance mode of relay protection equipment that combines paper records and manual management has problems such as the heavy workload and error-proneness. Based on the application value of two-dimensional code technology in the management of relay protection equipment, this paper uses two-dimensional code with the characteristics of large capacity, small size, and high recognition rate, and applies it to the operation and maintenance of secondary equipment and the storage of asset information. By recording the information of each relay protection equipment in different stages of installation, operation, defect and return, the life cycle management of relay protection equipment is realized. Taking a specific secondary equipment as an example, the storage of equipment defects and asset information is realized through two-dimensional code technology. The results show the two-dimensional code technology can solve the problems of inconsistent accounts and low efficiency in manual management and is of great significance to improve the efficiency of on-site operation and maintenance of relay protection.

Key words: two dimensional code technology; device identity identification; management of relay protection equipment; information management

收稿日期: 2020-10-12; 修回日期: 2020-11-19

基金项目: 国网天津市电力公司科技项目 (SGTJCN00DKJS1801607)

通信作者: 段佳莉 (1989-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事变电二次运维技术研究; E-mail: hnzzssx@126.com

继电保护在保证电网安全稳定运行中发挥着重要作用,随着电力系统规模的不断扩大、设备不断增加,电力系统对继电保护的要求也越来越高。计算机技术发展带来的信息、通讯水平的提高为继电保护技术的发展提供了新的动力^[1-4]。继电保护设备数量繁多、种类庞杂,其现场运维面临着工作量大、标准化作业、难度高等问题。传统的二次系统运维中信息采集与现场记录大多采用纸质记录、人工管理的方式,存在基础数据收集、汇总、填报工作量大以及更新不及时等问题^[5]。同时,由于设备作业指导书缺少标准化、电子化、全局公用的统一管理平台,导致各基层单位工作缺少参照对比^[6]。在现场运维中,二次安全措施的执行和确认是设备检修中的关键环节,传统的检修方式存在误入间隔的风险,危及作业人员的人身安全。二维码标签技术的应用很好地解决了这一问题,作业人员作业前通过对二维码标签的定位,能够有效防止误入间隔,同时设备的二维码标签也能作为巡检任务的定点监督。

随着物联网、人工智能及移动互联技术的发展,继电保护专业工作人员也开始在运行维护、检修等工作过程中采用新技术提高管理水平与效率^[7-9]。二维码是用某种特定的几何图形按一定规律在平面上分布黑白相间的图形,可用于记录数据符号等信息^[10]。目前二维码编码技术在档案信息管理、身份识别、移动设备等诸多行业已有了广泛的应用^[11-12]。本文将二维码编码技术应用于继电保护设备信息唯一识别中,建立继电保护设备唯一身份识别的二维码机制,实现账物互联及多系统间的信息共享,大大减少填报人员工作量,实现继电保护装置的精细化管理;同时,通过将设备各阶段信息利用二维码技术存储在云台,实现设备全生命周期的管理,大幅提升现场运行维护与检修的作业水平和管理水平,对电网安全稳定运行提供保障。

1 物联网标识技术

1.1 二维码概述

二维码又称二维条形码,是一种利用黑白方块在二维平面上表示特定信息的编码方式,相对于一维条形码而言,二维码所能表示的数据类型更多、存储容量更大^[13]。二维码可分为堆叠式、矩阵式二维码 2 类,不同的二维码对应的编码与读取方式也不

同。堆叠式二维码又称行排式二维码,是一种在一维条形码的基础上按照需要堆叠成二行或者多行来进行编码的方式,其编码原理、读取方式继承了一维条形码的特点,常见的堆叠式二维码有 CODE 16K、PDF417 等^[14]。矩阵式二维码又称棋盘式二维码,是一种在矩形空间内通过黑白像素来表示特定信息的编码方式,其中黑色像素点表示二进制数值“1”,白色像素点表示二进制数值“2”,不同的点排列组合对应不同的信息,常见的矩阵式二维码有 QR Code、Data Matrix 等^[15]。该文选用 QR 码作为继电保护设备身份唯一识别与信息管理的载体。

1.2 QR 码工作原理及结构介绍

QR 全称为 QuickResponse,即快速反应,它由日本的 Denso-Wave 公司于 1994 年发明。相对于一维条形码具有特点:①可存储数据类型多,除能够存储文字信息以外,QR 码还能够存储图片、声音信息;②存储容量大,QR 码的存储容量是一般一维条形码的几十倍;③鲁棒性好,在对 QR 码进行扫描识别时,可以从任意方向开始,且 QR 码具有容错机制,纠错能力强。

QR 码共有 40 个版本,不同版本 (Version) 对应不同的大小,最小尺寸为 21×21 的矩阵,最大尺寸为 177×177 的矩阵,其尺寸大小计算公式如下:

$$S = (V - 1) \times 4 + 21 \quad (1)$$

式中 S 为二维码尺寸; V 为对应的版本号。

QR 结构如图 1 所示,可知 QR 码主要由编码区和功能图像区组成,2 个区均包含三部分。

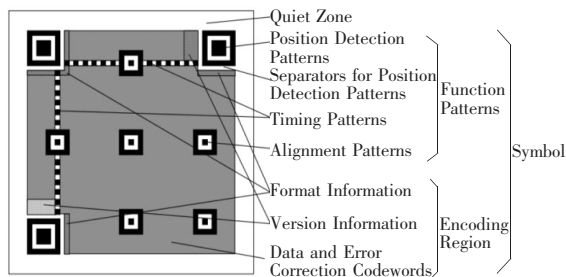


图 1 QR 码结构

Figure 1 QR code structure

1) 功能图像区。

① 位置探测图形 (Position Detection Patterns)。由 3 个大小相同、黑白相间的正方形构成,分别位于 QR 码的左上角、左下角和右上角,其作用为确定二维码的大小和位置。在每个位置探测图形

周围有一圈白色模块区域为位置探测图形分隔符 (Separators for Position Detection Patterns), 起到分隔每个位置探测图形的作用。

②定位图形 (Timing Patterns)。黑白相间的条状图形, 用于连接 3 个位置探测图形, 同时起到作为扫描标准线的作用。

③矫正图形 (Alignment Patterns)。类似于位置探测图形, 也是起定位作用。

2) 编码区。

①格式信息 (Format Information)。用于存放格式化数据, 记录使用的掩码和纠错等级。

②版本信息 (Version Information)。存在于版本 7 以上的 QR 码中, 用于记录具体的版本信息。

③数据码和纠错码 (Data and Error Correction Codewords)。数据码主要用于存储要存放的信息数据; 纠错码则起到当二维码数据出现允许范围内的错误时仍能保证被正常解码的作用。二维码有 4 个纠错等级, 每个纠错等级所能纠正的错误数如表 1 所示。

表 1 QR 码纠错等级及对应的纠错比例

Table 1 QR code error correction level and the corresponding error correction ratio

纠错等级	纠错比例/%	纠错等级	纠错比例/%
L 级	7	Q 级	25
M 级	15	H 级	30

1.3 QR 码的编码及译码流程

将原始数据 (文本、图像、声音) 通过黑白像素点的形式表示在矩阵中形成二维码的过程称为 QR 码的编码^[13]; 将二维码所包含的信息转译为人工可阅读信息的过程称为二维码的译码过程。其流程如图 2 所示。

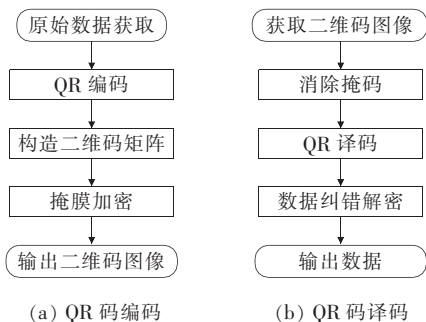


图 2 QR 码编码和译码流程

Figure 2 Flow chart of QR code and decode

1.4 RFID 技术概述及与二维码技术的对比

射频识别 (radio frequency identification, RFID) 技术是一种利用电磁感应来进行非接触式数据通信、交换的自动识别技术^[14-15]。RFID 系统由电子标签、识读者两部分构成, 电子标签内含芯片与内置天线用于实现数据的读写、存储及与识读者之间的通信。当标签进入磁场区域时, 在电磁感应的作用下会以脉冲的形式发出芯片内存储的产品信息; 识读者接收这些脉冲并按照特定的通信协议进行译码, 并发送至中央系统进行处理与可视化。RFID 的工作流程如图 3 所示。

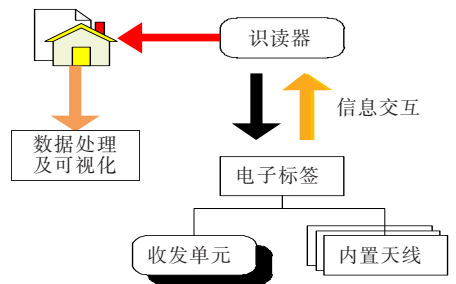


图 3 RFID 工作流程

Figure 3 RFID workflow

RFID 技术具有快速扫描、存储容量大、使用寿命长等优点, 但相对于二维码技术而言由于每个电子标签都需要一个芯片来对数据进行读写, 因此相对而言成本较高, 且二维码具有即时生成的优点, 故该文拟采用二维码技术来实现设备的身份识别。

2 基于 QR 码的继电保护设备唯一识别方法及优势

继电保护设备种类繁多、数量庞大, 在实际现场运维过程中, 传统的纸质记录、人工管理的方法不仅效率低下且容易出现账实不符的问题。该文采用 QR 码对每台设备进行唯一性标识, 将每台继电保护设备的资产、运维信息通过编码记录到 QR 码中, 并生成唯一的二维码标签, 实现设备的唯一性身份识别。

2.1 设备唯一性标识生成

物联网技术的发展提高了电力系统的管理效率与水平, 在电力物联网系统中, 每个电力设备都有对应唯一的 IP 码地址, 通过该 IP 码能够方便快捷地对设备进行管理。

对于每台继电保护设备,首先通过按保护对象分类的标准进行 QR 码编制,再将每台设备的编号、名称、出厂日期、投运日期等基本资产信息存储到二维码中,生成具有唯一性身份识别的二维码标签,最后,将该标签打印、加磁、固定在设备上,即完成了设备的唯一性识别,其整体流程如图 4 所示。

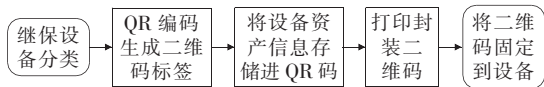


图 4 设备身份唯一识别流程

Figure 4 Flow chart of device identity unique identification

2.2 QR 码技术在设备管理中的优势

2.2.1 大幅提升设备信息更新效率与准确率

基于 QR 码的移动智能管理系统可以通过移动端扫描二维码标签,并将在现场运维过程中发现的缺陷信息及时录入到设备的二维码中^[16]。由于二维码链接了设备数据管理平台,因此,设备的运维信息能实时更新到管理数据库中,保证了设备信息的及时更新。相对于传统的人工现场纸质记录后再汇总整理的方法,基于 QR 码的设备信息智能录入方式大幅提高了设备运维信息更新的速率,同时降低了人工记录带来的账实不符的问题,保证了现场运维的高效性与准确性,对变电站所有二次设备运维信息进行更新所需时间和准确率对比,如图 5 所示。

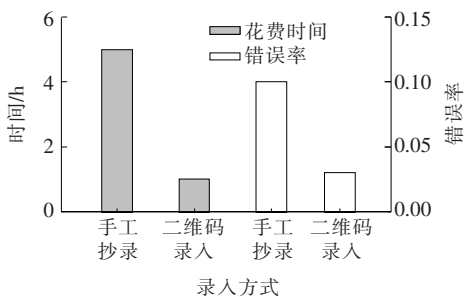


图 5 二维码与手工抄录设备信息所需时间与错误率对比

Figure 5 Comparison of time and error rate between QR code and manual recording equipment information

2.2.2 设备全寿命周期管理

传统的纸质记录人工管理的方式虽然将设备信息进行了记录,但由于继电保护设备数量众多、种类繁多,导致当作业人员需要查阅信息时需要携带大量资料且查阅十分不便。基于 QR 码的设备信息管理将设备的编号、名称、出厂时间、投运时间、报废时间以及故障类型、运维记录等全寿命周期内的信息

记录于设备上的二维码中,当作业人员需要进行运维时,只需通过移动端扫描设备上的二维码即可获得设备的所有信息^[17]。通过基础资料电子化,实现了设备信息的实时高效查阅与设备信息的全寿命周期管理,解决了传统信息查阅效率低下、整理困难的问题。

2.2.3 智能指导运维,对设备状态进行评估

基于设备全寿命周期信息并结合实时运行工况,可对设备的健康状态进行评估。评估模型采用变权物元可拓模型^[18],其基本步骤如下。

1) 确定待评价设备的物元矩阵、经典域、节域,分别为

$$R_0 = (N_0, C_i, V_i) = \begin{bmatrix} N_0 & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \dots & \dots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_j = (N_j, C_i, V_{ij}) = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & V_{1j} \\ & C_2 & V_{2j} \\ & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_p = (N_p, C_i, V_{pj}) = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \dots & \dots \\ & C_n & V_{pn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(2)~(4)中 N_0 为设备个体; C_i 为 N_0 的 n 个特征; V_i 为 N_0 对应 C_i 的实际值; N_j 为设备被划分的第 j 个等级; N_p 为设备全体; V_{ij} 、 V_{pj} 分别为 N_j 、 N_p 对应 C_i 的取值范围。

2) 确定各评价指标权重。对设备状态进行评估时,各指标权重的确定十分重要,文献^[19]提出了基于空间理论的变权综合模型。

3) 计算贴近度。

4) 对健康等级进行判定并进行数据量化,根据量化结果将二次设备健康状态分为正常、预警、异常、严重 4 个状态。各区间参数如表 2 所示。

表 2 二次设备健康状态区间划分

Table 2 Division of health status interval of secondary equipment

健康状态	得分	健康状态	得分
正常	90~100	异常	70~80
预警	80~90	严重	0~70

基于文 2.2 中方法确定设备的健康等级后,管理端可根据该指标确定设备在实际运维时处于小修、中修、大修中的哪种状态,从而指导作业人员提前做好运维准备,提高了运维管理水平。

3 基于 QR 码的二次设备智能运维作业流程

基于移动端的智能运维技术,调控人员采集变电站二次设备信息并对其进行“远程诊断”分析,当发现设备故障时创建作业任务清单,任务清单包括运维设备的基本信息、工作时间、工作内容等;任务创建后派发给作业人员,作业人员根据作业任务并参照作业指导书做好准备工作,包括对现场设备的勘察、工具材料的准备、检验内容的确定;现场运维时作业人员通过设备二维码标签确认作业设备,有效防止了误入间隔,保证了作业人员的人身安全,提高了运维的安全性及可靠性。运维结束后通过扫描设备上的二维码并利用移动端实时录入此次运维的内容,利用无线网络将检修信息实时同步到设备信息管理系统内。

基于 QR 码的二次设备智能运维标准化流程如图 6 所示。

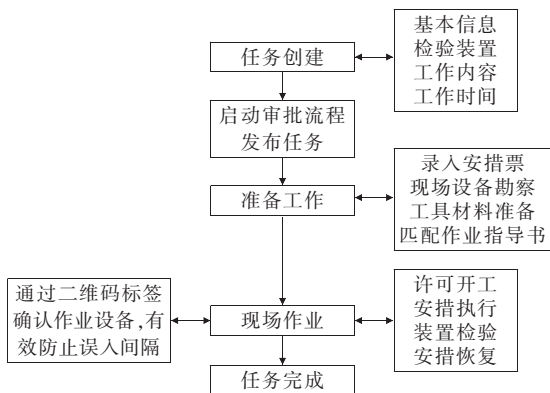


图 6 二次设备智能运维作业流程

Figure 6 Flow chart of intelligent operation and maintenance of secondary equipment

4 设备 QR 码现场容错功能校验

二维码作为保护设备的身份标识会一直伴随设备的整个生命周期,由于长时间受外界因素的影响,二维码标签不可避免的会出现破损、积污受潮等缺

陷,为了验证 QR 码在实际使用中的有效性,该文对不同污损程度下的二维码分别进行 10 次识别,其结果如表 3 所示,可知 QR 码具有较好的容错能力,即使在污损程度达到严重时,纠错等级最低的 QR 码识别成功率仍有 60%,因此能够长期作为设备的身份标识,具有很好的实用性。

表 3 不同污损等级下 QR 码识别成功率

Table 3 QR code recognition success rate under different contamination levels

污损程度	成功率/%			
	L 级	M 级	Q 级	H 级
完好	100	100	100	100
轻微	80	90	100	100
普通	60	60	70	90
严重	60	70	70	80

5 基于 Matlab GUI 的 QR 码生成软件

5.1 Matlab GUI 简介

图形用户界面(graphical user interface, GUI)由窗口、按钮等图形对象而构成^[20]。简单的界面、实时的人机交互以及基于 Matlab 的强大矩阵、数值处理能力,使得利用 GUI 设计的软件具有很大的可操作性和普适性^[21]。尤其在现场试验中,GUI 仿真代码的不可见性为一些不熟悉 Matlab 编程的人群提供了操作界面的可能。

5.2 基于 Matlab GUI 的 QR 码生成界面

在 Matlab 中设计用户界面,如图 7 所示,该界面由资产信息记录区、运维信息记录区、二维码生成区以及控制面板区构成。资产信息记录区用于输入设备的类别、编号、出厂投运时间、生产厂家等表示设备基础信息的数据;运维信息记录区用于输入设备检修总次数、缺陷部位、缺陷程度及原因等在实际现场运维中需要输入的信息;控制面板区用于实现二维码的生成、数据清除及程序退出的功能;二维码生成区用于显示软件生成的二维码图像。

为了验证软件的实用性,以具体的二次设备为例,通过将其资产信息以及某次运维过程中的缺陷信息记录到二维码中,并生成相应的二维码,其结果如图 8 所示。

基于二维码的继电保护设备信息管理软件	
资产信息记录区	
设备名称 <input type="text"/>	设备类别 <input type="text"/>
设备编号 <input type="text"/>	出厂时间 <input type="text"/>
生产厂家 <input type="text"/>	搬运时间 <input type="text"/>
运维信息记录区	
累计检修次数 <input type="text"/>	缺陷程度 <input type="text"/>
缺陷部位 <input type="text"/>	运维时间 <input type="text"/>
缺陷原因 <input type="text"/>	责任部门 <input type="text"/>
控制面板区	
生成二维码	退出软件
上传现场图片	清除信息
二维码生成区	

图 7 继电保护设备身份识别二维码生成界面

Figure 7 Interface of two-dimensional code generation for identity identification of relay protection equipment

基于二维码的继电保护设备信息管理软件	
资产信息记录区	
设备名称 66 kV 刘庄甲线综合智能单元	设备类别 合并单元智能终端集成
设备编号 DTI-806/S	出厂时间 2019.09.12
生产厂家 许继电气	搬运时间 2019.10.30
运维信息记录区	
累计检修次数 2 次	缺陷程度 严重
缺陷部位 发信插件	运维时间 2019.12.20
缺陷原因 运行维护不良导致的插件接触不良	责任部门 运行维护部
控制面板区	
生成二维码	退出软件
上传现场图片	清除信息
二维码生成区	

图 8 二维码生成结果

Figure 8 Two dimensional code generation results

软件运行结果显示,使用二维码对继电保护设备进行身份唯一性标识,具有快捷便利的优点。同时由于二维码技术能够实现对设备全寿命周期的信息管理,结合设备健康状态评估模型能够对二次设备的健康状态进行评估进而智能化指导作业人员进行现场运维。

6 结语

该文针对传统的继电保护设备信息管理存在的问题,提出了基于二维码技术的继电保护设备身份识别与信息管理的办法。该方法以 QR 码为载体,通过记录每台设备的资产、运维信息并生成对应的二维码,实现了设备身份的唯一性识别与信息的全寿命周期管理。结合目前提出的基于移动互联网的智能运维技术,该方法解决了传统管理模式中存在的问题量大、易出错的问题,提升了运维信息更新的效率和准确性。通过对不同污损程度下的 QR 码进行识别,其结果说明 QR 码具有很强的实用性,最后,基于 Matlab 中的 GUI 模块开发了一款能实时生成

二维码标签的软件。

参考文献:

- [1] 张琳波,李本瑜,石恒初,等.基于信息融合的继电保护智能管控系统研究[J].供用电,2020,37(3):52-57.
ZHANG Linbo,LI Benyu,SHI Hengchu,et al. Study of relay protection and intelligent management and control system based on information fusion[J]. Distribution & Utilization,2020,37(3):52-57.
- [2] 杨建新,王一栋,刘东英.330 kV 变电站主变继电保护系统及自动灭火系统的设计和实现[J].电网与清洁能源,2019,35(11):1-6.
YANG Jianxin,WANG Yidong,LIU Dongying. Design and implementation of main transformer relay protection system and automatic fire extinguishing system for 330 kV substations [J]. Power System and Clean Energy,2019,35(11):1-6.
- [3] 杨国生,戴飞扬,王文焕,等.基于灰度关联法和 TOPSIS 法的继电保护状态评估综合算法研究与应用[J].中国电力,2019,52(2):94-103.
YANG Guosheng,DAI Feiyang,WANG Wenhuan,et al. Research and application of comprehensive algorithm of relay protection status assessment based on gray correlation analysis and TOPSIS method[J]. Electric Power,2019,52(2):94-103.
- [4] 张羲海,张葛祥,王健,等.计及继电保护与油气信息的变压器故障推理[J].高压电器,2020,56(9):136-143.
ZHANG Xihai,ZHANG Gexiang,WANG Jian,et al. Transformer fault reasoning under relay protection and gas dissolved in oil information[J]. High Voltage Apparatus,2020,56(9):136-143.
- [5] 钱海,贾松江,杨飞,等.基于移动互联网的继电保护设备智能运维技术研究[J].智慧电力,2019,47(11):60-66.
QIAN Hai,JIA Songjiang,YANG Fei,et al. Intelligent operation and maintenance technology for relay protection equipment based on mobile internet[J]. SmartPower,2019,47(11):60-66.
- [6] 裘愉涛,周震宇,杨剑友,等.继电保护远程运维技术研究与应用[J].电力系统保护与控制,2018,46(18):17-24.
QIU Yutao,ZHOU Zhengyu,YANG Jianyou,et al. Research and application of remote operation and maintenance technology of relay protection[J]. Power System Protection and Control,2018,46(18):17-24.
- [7] 曾治安,姚树友,郑晓玲,等.基于移动互联网技术的继

- 电保护设备智能运维管理模式探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(16): 80-86.
- ZENG Zhian, YAO Shuyou, ZHENG Xiaoling, et al. Discussion on intelligent operation and maintenance management mode of relay protection equipment based on mobile Internet technology[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(16): 80-86.
- [8] 邢颖, 郎燕生, 李强, 等. 多级智能电网调控系统集中运维模式的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(15): 142-148.
- XING Ying, LANG Yansheng, LI Qiang, et al. Discussion on pattern of centralized operation and maintenance for multilevel smart power dispatching control system [J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(15): 142-148.
- [9] 张兴忠, 杨罡, 赵国伟. 基于全域电力大数据的配电网现状自动诊断分析技术研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(16): 111-115.
- ZHANG Xingzhong, YANG Gang, ZHAO Guowei, et al. Research on automatic diagnosis and analysis technology of distribution network status based on global large power data[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2019, 56(16): 111-115.
- [10] Gordon Holden, Lyp Thomas, Kimbro Calvin, et al. A novel IoT sensor authentication using HaLo extraction method and memory chip variability[J]. Discover Internet of Things, 2021, 1(1): 19.
- [11] Mouro João, Ferreira Mafalda, Silva Ana V, et al. Derivation of analytical expressions for the stress/strain distributions, bending plane and curvature radius in multilayer thin-film composites[J]. Journal of Micro-mechanics and Microengineering, 2021, 31: 113003.
- [12] Wu Yulei, Cui Laizhong, Leung Victor CM, et al. Towards efficient and flexible management and interworking techniques for Industrial Internet of Things [J]. Computer Networks, 2021, 200: 108541.
- [13] 马立林. 云计算环境下基于二维码的移动终端身份认证方案[J]. 微电子学与计算机, 2016, 33(1): 140-143+148.
- MA Lilin. An identity authentication scheme of mobile terminal based on two-dimension code in cloud computing environment[J]. Microelectronics & Computer, 2016, 33(1): 140-143+148.
- [14] 郑平标, 侯海永. RFID技术在仓储管理系统中的应用[J]. 铁道货运, 2005(12): 18-21+55.
- ZHENG Pinbiao, HOU Haiyong. The application of RFID technique in warehouse management system[J]. Railway Freight Transport, 2005(12): 18-21+55.
- [15] 谭德林, 李均利. 基于 DHKE 的二维码技术[J]. 微电子学与计算机, 2018, 35(2): 22-25.
- TAN Delin, LI Junli. The 2D code technology based on DHKE[J]. Microelectronics & Computer, 2018, 35(2): 22-25.
- [16] 殷浩然, 苗世洪, 韩佶, 等. 基于三维卷积神经网络的配电网异常辨识方法[J/OL]. 电力系统自动化: 1-15 [2021-10-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20211020.1126.004.html>.
- YIN Haoran, MIAO Shihong, HAN Ji, et al. Anomaly identification method for power distribution Internet of things based on three-dimensional convolutional neural network[J/OL]. Automation of Electric Power Systems: 1-15 [2021-10-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20211020.1126.004.html>.
- [17] Haseeb Junaid, Mansoori Masood, Hirose Yuichi, et al. Autoencoder-based feature construction for IoT attacks clustering[J/OL]. Future Generation Computer Systems, 2022, 127: 487-502 [2021-10-22]. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.09.025>.
- [18] Tanghatari Ehsan, Kamal Mehdi, Afzali-Kusha Ali, et al. Distributing DNN training over IoT edge devices based on transfer learning[J/OL]. Neurocomputing, 2022, 467: 56-65 [2021-10-18]. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.09.045>
- [19] 刘映尚, 陶文伟, 周凯, 等. 基于变权物元可拓模型的二次设备状态综合评价[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 80-85.
- LIUYingshang, TAO Wenwei, ZHOU Kai, et al. Comprehensive evaluation on secondary equipment condition based on matter-element extension model with variable weight[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 80-85.
- [20] Rathi Vipin Kumar, Rajput Nikhil Kumar, Mishra Shubham, et al. An edge AI-enabled IoT healthcare monitoring system for smart cities[J]. Computers & Electrical Engineering, 2021, 96(B): 107524.
- [21] Kuang Boyu, Fu Anmin, Susilo Willy, et al. A survey of remote attestation in internet of things: attacks, countermeasures, and prospects[J/OL]. Computers & Security, 2022, 112: 102498 [2021-10-22]. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102498>.