

基于改进人工鱼群算法的配电站三维空间的 传感器优化布置

马 娜¹, 陈 亮², 鲁方林¹, 吴 曦³, 高杨德¹

(1. 中国科学院上海高等研究院, 上海 201210; 2. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 210024;
3. 国网江苏省电力有限公司无锡供电分公司, 江苏 无锡 214000)

摘 要:为了解决配电网中三维空间故障检测传感器节点的优化配置问题,提出了基于物联网传感器和改进的人工鱼群算法,解决配电网中三维空间故障检测传感器节点的优化布置问题,实现空间检测传感器节点的有效优化布置。首先采用 MSP 430F 149 微处理器芯片构建空间传感器节点,与监控计算机组成配电站温度监控系统,实现配电站温度检测数据的有效采集、传输和处理。其次,通过人工鱼群的初始化和改进梯度下降法改进传统的人工鱼群算法,增大视野和提高算法的收敛精度,最后应用改进的人工鱼群算法优化检测传感器节点的配置。实验证明基于物联网传感器和改进的人工鱼群算法可以对变电站进行有效的空间优化监控。

关 键 词:无线传感器; MSP 430F 149 微处理器芯片;改进人工鱼群算法;三维空间监测;变电站

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2021.01.016 中图分类号:TP18; TP393 文章编号:1673-9140(2021)01-0145-07

Optimal placement of sensors in three-dimensional space of distribution station based on improved artificial fish swarm algorithm

MA Na¹, CHEN Liang², LU Fanglin¹, WU Xi³, GAO Yangde¹

(1. Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Science, Shanghai 201210, China; 2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China; 3. Wuxi Power Supply Company, State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Wuxi 214000, China)

Abstract: In order to solve the distribution network in three dimensional space fault detection of optimal allocation problem of sensor nodes, the improved artificial fish algorithm is proposed based on the IoT sensor effectively which realizes effective optimal allocation of space detection sensor nodes. Firstly, the MSP 430F 149 microprocessor chip is utilized to construct the space sensor node together with the monitoring computer to form the distribution station temperature monitoring system which realizes the effective collection, transmission and processing of the distribution station temperature detection data. Secondly, the traditional artificial fish swarm algorithm is improved through the initialization of artificial fish swarm and the improved gradient descent method. The field of view and the convergence accuracy of the algorithm is improved. Finally, an improved artificial fish swarm algorithm is applied to optimize the placement of sensor nodes. It is shown that the improved artificial fish swarm algorithm based on IoT sensors can ef-

收稿日期:2018-12-05;修回日期:2019-03-26

基金项目:国网总部科技项目(SGTYHT/14-JS-188)

通信作者:马 娜(1985-),女,硕士,主要从事物联网技术、智能算法在电力和机械领域的应用研究;E-mail:man@sari.ac.cn

fectively optimize the monitoring of substation space.

Key words: wireless sensor; MSP 430F 149 microprocessor chip; improved artificial fish swarm algorithm; three-dimensional space monitoring; substation

配电站是配电系统正常运行的重要保障。应用智能化无线传感器网络监控技术,可以实现对配电站运行状态全要素进行有效的全方位智能监控。配电站中需要监测的设备和物理量多,且设备分散,传统的配电站数据采集是针对关键点进行固定传感器的布置,而对于配电站三维空间环境监测的传感器网络覆盖部署研究较少。人工鱼群算法作为一种智能优化算法具有快速迭代寻找最优解的特点,被广泛地应用在实际工程应用中^[1-5]。如文献[6]采用人工鱼群算法对无线传感器网络在二维空间的覆盖进行了研究优化;文献[7-8]采用改进的人工鱼群算法对无线传感器网络行优化;文献[9]采用混合人工鱼群算法对传感器网络进行优化。对于三维空间的研究,文献[10]采用虚拟力模型对传感器三维覆盖算法进行研究;文献[11]研究一种面向三维感知的无线多媒体传感器网络覆盖增强算法;文献[12]研究三维水下移动传感网多目标有向路径覆盖增强机制;文献[13]利用分布式狼群算法进行三维传感器优化布置研究。

该文结合配电站的实际应用场景,提出配电站传感器网络三维空间部署优化算法,利用改进人工鱼群算法对模型的最优解进行求解,从而实现配电站中采用最少的传感器,获得最大的传感器覆盖,实现配电站的全面监测,如图 1 所示。

通过数据分析,该文采用的基于物联网传感器和改进的人工鱼算法能对配电变站三维空间进行高效的优化监控。

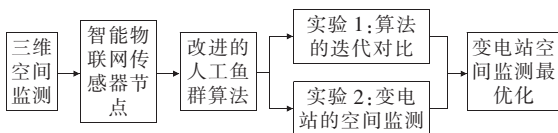


图 1 无线物联网传感器监测系统

Figure 1 Wireless IoT sensor monitoring system

1 无线物联网传感器监测系统

无线物联网传感器监测系统主要由温度传感器

构成,将采集的信息通过 RS-485 线路进行通信,传递到计算机上,实现数据的处理、显示和超限报警等功能,如图 2 所示。

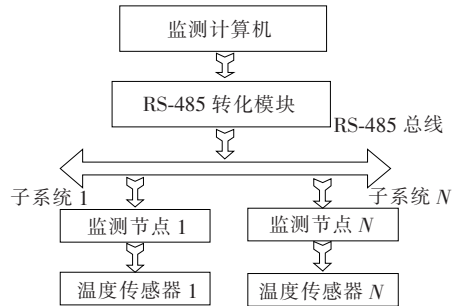


图 2 无线物联网传感器监测系统

Figure 2 Wireless IoT sensor monitoring system

1.1 传感器硬件的研发设计

传感器模块主要由微处理器单元、无线通信单元、数据采集单元等组成,如图 3 所示。

微处理器:MSP 430F 149 芯片,16 位超低耗的混合信号处理器。设计时采用场效应管 VT 1 控制 MAX 6675 芯片和 74HC 4051。

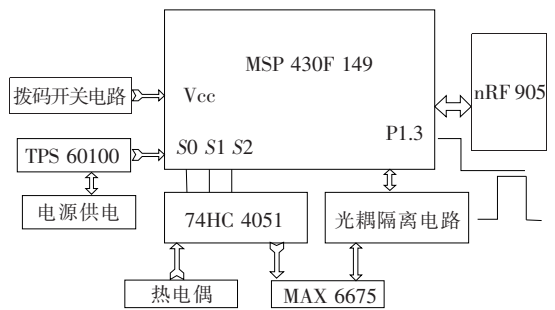


图 3 温度传感器硬件结构

Figure 3 Temperature sensor hardware structure

无线通信单元:单片射频发射器芯片 nRF 905,射频的标准 IEEE 802.15.4。

温度传感器采集单元:MAX 6675 温度传感器。

电源单元:电源主要采集 TPS 60100 芯片,提供 3.3 V 电压。

1.2 中心节点的研发设计

中心节点包括微处理器单元、无线通信单元、串行通信单元、存储单元、报警/LCD 显示单元,如图 4 所示。

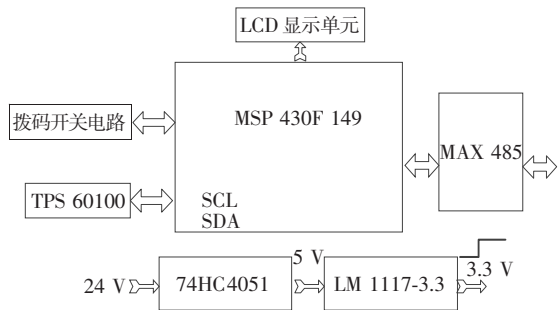


图 4 中心节点结构

Figure 4 Central node structure

软件设计:计算机监测软件是以 Visual Basic 6.0 为软件平台完成。

2 改进的人工鱼群算法

2.1 优化传感器网络监测区域的覆盖率

目前,电源单元绝大部分针对传感器网络的覆

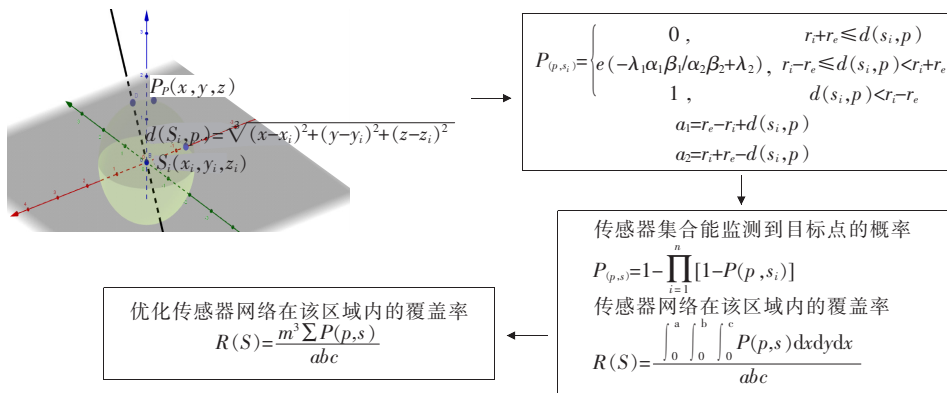


图 5 优化传感器网络监测区域的覆盖率

Figure 5 Optimize coverage rate for sensor network monitoring area

2.2 改进人工鱼群算法

该文提出在鱼群中随机放入 2 种人工鱼,一种是视野和步长都会较大,称之为大人工鱼;另一种是视野和步长较小,称之为小人工鱼。将大人工鱼放入,因为其视野范围广,有助于提高算法的收敛性;同时当迭代次数增加,最优值变化幅度不大时,自适应减少人工鱼的步长,进一步提高收敛速度。其流程如图 6、7 所示,具体实现步骤如下。

1) 初始化鱼群。鱼群的状态为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$; 鱼群的过程状态为 $X_v = (x_1^v, x_2^v, \dots, x_n^v)$; 目标函数值为 $Y = f(x)$ 。人工鱼在最大视野 Visual 范围内,以最大步长为 Step 进行移动,拥挤程度为 δ , Rand() 为 0~1 之间的

盖优化模型都是基于二维平面的,而配电站是一个真实的复杂三维场景,如变压器的立体震动监测^[14]、工频电磁环境监测^[15]、微气象环境监测^[16]等。因此,在给定传感器数目条件下,通过优化部署位置以提高覆盖率是更实际的需求。该文研究的网络优化模型基于传感器覆盖感知模型:所有传感器的覆盖范围都是以其自身为球心的三维球体区域,球体半径由该传感器的监测灵敏度决定。常见的有 3 种:概率感知、全盘感知、有向感知模型,该文采用概率感知模型^[17-22]。

设被监测区域内共部署 n 个传感器,则传感器集合为 $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$,第 i 个传感器 S_i 的位置坐标为 (x_i, y_i, z_i) ,其感知半径为 r_i 。目标点 $p(x, y, z)$ 是能被传感器 S_i 监测到的概率,其中 $d(s_i, p)$ 是目标点与传感器间的距离,如图 4 所示;计算出传感器网络监控的覆盖率 $R(S)$,如图 5 所示。

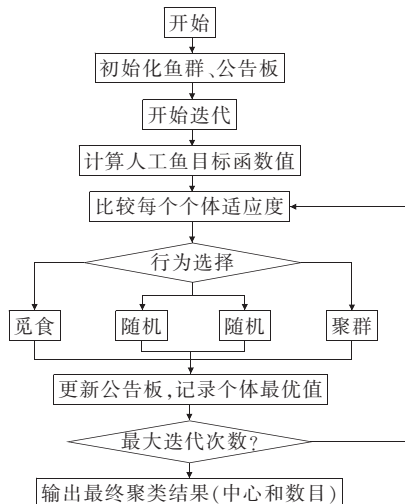


图 6 改进鱼群算法的流程

Figure 6 Flow chart for improving fish swarm algorithm

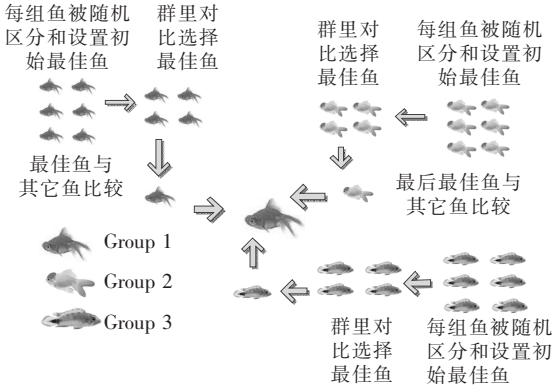


图7 人工鱼群算法迭代循环过程

Figure 7 Iterative process for artificial fish swarm algorithm

随机数,并随机产生 M 条大人工鱼,人工鱼的个体间距离为 $d_{i,j} = \|x_i - x_j\|$ 。人工鱼通过感知视野范围内的人工鱼状态以及随机状态,按照聚群、追尾、觅食的顺序选择行为。

2)聚群行为。当人工鱼视野范围内,人工鱼伙伴为 n_t ,人工鱼伙伴中心位置为 x_c 。如果检测为小人工鱼,将执行式(1)行为;如果检测为大人工鱼,将执行式(2)行为。更新公告板,否则执行觅食行为。

$$x_i^{t+1} = x_i + \frac{x_c - x_i^t}{\|x_c - x_i^t\|} \times Step \times Rand() \quad (1)$$

$$s. t. d_{i,j} < Visual, \frac{Y_c}{n_t} > \delta Y_i$$

$$x_i^{t+1} = x_i + \frac{x_c - x_i^t}{\|x_c - x_i^t\|} \times \alpha \times Step \times Rand()$$

$$s. t. d_{i,j} < \alpha \times Visual, \frac{Y_c}{n_t} > \delta Y_i \quad (2)$$

3)追尾行为。在视野范围内,选择最优的人工鱼伙伴,其目标函数值为 Y_j 。如果检测为小人工鱼,将执行式(3)行为;如果检测为大人工鱼,将执行式(4)行为。更新公告板,否则执行觅食行为。

$$x_i^{t+1} = x_i + \frac{x_j - x_i^t}{\|x_j - x_i^t\|} \times Step \times Rand() \quad (3)$$

$$s. t. d_{i,j} < Visual, \frac{Y_j}{n_t} > \delta Y_i$$

$$x_i^{t+1} = x_i + \frac{x_j - x_i^t}{\|x_j - x_i^t\|} \times \alpha \times Step \times Rand() \quad (4)$$

$$s. t. d_{i,j} < \alpha \times Visual, \frac{Y_j}{n_t} > \delta Y_i$$

4)觅食行为。人工鱼通过感知视野中的事物浓度,如果检测为小人工鱼,将执行式(5)行为,如果检测为大人工鱼,将执行式(6)行为,否则进行随机行为。

$$x_i^{t+1} = x_i + \frac{x_j - x_i^t}{\|x_j - x_i^t\|} \times \alpha \times Step \times Rand() \quad (5)$$

$$s. t. Y_j > Y_i$$

$$x_i^{t+1} = x_i + \frac{x_j - x_i^t}{\|x_j - x_i^t\|} \times Step \times Rand() \quad (6)$$

$$s. t. Y_j > Y_i$$

5)随机行为。属于人工鱼默认的行为,如果检测为小人工鱼,将执行式(7)行为,如果检测为大人工鱼,将执行式(8)行为。

$$x_i^{t+1} = x_i + \alpha \times Step \times Rand() \quad (7)$$

$$x_i^{t+1} = x_i + Step \times Rand() \quad (8)$$

6)当最优值变化幅度不超过 5%时,采用梯度下降法进行高精度寻优,当迭代次数达到预定值,将结束并输出最优值。

3 试验分析

3.1 模拟仿真

设定人工鱼的数量为 50 只人工鱼,最多迭代次数为 100 次,最多尝试次数为 100 次,拥挤度 δ 为 0.618,目标函数为 $f(x,y) = (\sin(x)/x) \cdot (\sin(y)/y)$,目标函数三维如图 8 所示,分别进行基本人工鱼群算法和改进人工鱼群算法的仿真,仿真结果分别如图 9、10 所示。

图 9 大概在迭代 60 次后找到最优值,图 10 大概在 20 次左右找到最优值,根据对比可以看出改进人工鱼群算法可以用更少的迭代次数达到最优值。

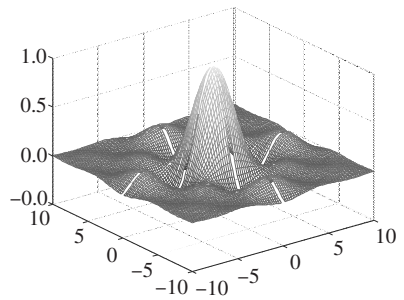


图8 目标函数三维

Figure 8 3D graph of the objective function

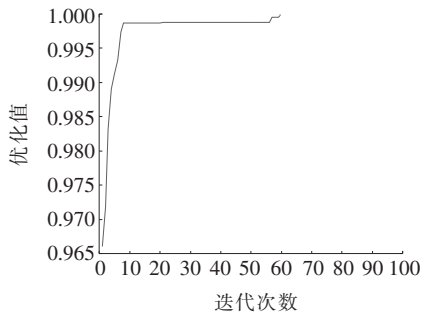


图 9 基本人工鱼群迭代算法

Figure 9 Basic artificial fish swarm iterative algorithm

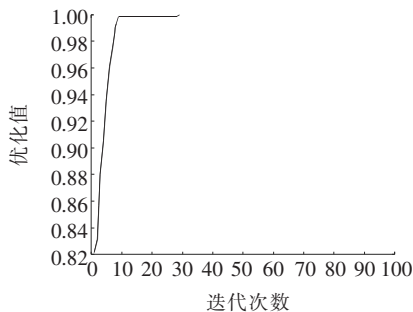


图 10 改进鱼群迭代算法

Figure 10 Improved fish swarm iterative algorithm

3.2 配电站试验

该文将提出的综合算法应用在 100 m×100 m×100 m 的配电站房间,部署 80 个传感器,每个传感器监测范围为 32 m。

传统的人工鱼群算法随机的传感器分布如图 11 所示,改进的人工鱼群算法进行的传感器分布如图 12 所示,参数性能对比图 13。样本 1 迭代需要时间:传统人工鱼群算法是 200 s,改进人工鱼群算法 160 s;样本 2 迭代次数:传统人工鱼群算法是 50,改进人工鱼群算法 30;样本 3 传感器覆盖率:传统人工鱼群算法是 85%,改进人工鱼群算法 95%。

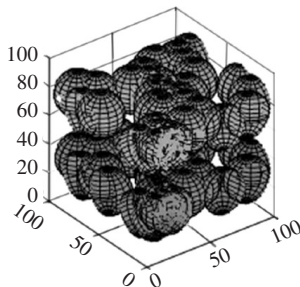


图 11 人工鱼群算法随机分布情况

Figure 11 Random distribution of artificial fish swarm algorithm

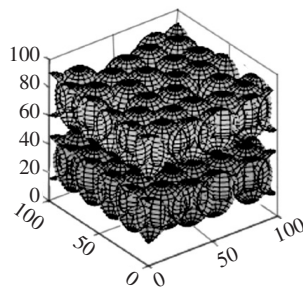


图 12 改进鱼群算法分布情况

Figure 12 Improve the distribution of artificial fish swarm algorithm

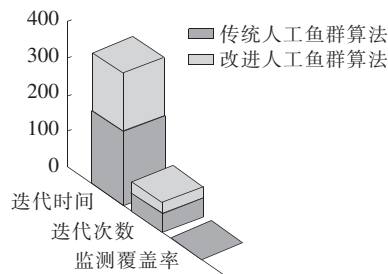


图 13 改进算法性能对比

Figure 13 Performance comparison between tradition and improved artificial fish swarm algorithm

分析对比可知,改进人工鱼群算法可以快速地实现高效的监测覆盖率。

4 结语

该文提出基于物联网的传感器与改进的人工鱼群算法进行有效的结合,可以更好地实现空间检测传感器节点的有效优化配置,高效地解决配电网故障检测中传感器节点的优化配置问题。

1)该文采用 MSP 430F 149 微处理器芯片、传感器节点和监控计算机组成配电变站的温度监控系统,实现配电变站温度检测数据的有效采集、传输和处理。

2)改进传统的人工鱼群算法,通过人工鱼群的初始化和改进梯度下降法,增大视野和提高算法的收敛精度,最后改进的人工鱼群算法应用在检测传感器节点的优化配置,实现在三维空间内传感器节点的优化布置,具有更高的传感器网络节点覆盖率,有一定的实际应用指导意义。

参考文献:

- [1] Lin K C, Chen S Y, Hung J C. Botnet detection using support vector machines with artificial fish swarm algorithm[J]. Journal of Applied Mathematics, 2004(1): 1-9.
- [2] Wang H B, Fan C C, Tu X Y. AFSAOCP: A novel artificial fish swarm optimization algorithm aided by ocean current power[J]. Applied Intelligence, 2016, 45(4): 992-1007.
- [3] Neshat M, Sepidnam G, Sargolzaei M, et al. Artificial fish swarm algorithm; a survey of the state-of-the-art, hybridization, combinatorial and indicative applications[J]. Artificial Intelligence Review, 2014, 42(4): 965-997.
- [4] Liu X, Zhang X, Li W, et al. Swarm optimization algorithms applied to multi-resource fair allocation in heterogeneous cloud computing systems[J]. Computing, 2017, 99(12): 1231-1255.
- [5] Liu Y, Wang R X. Study on network traffic forecast model of SVR optimized by GAFSA[J]. Chaos Solitons & Fractals, 2015, 89(3): 153-159.
- [6] 黄瑜岳, 李克清. 基于人工鱼群算法的无线传感器网络覆盖优化[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(2): 554-556.
HUANG Yuyue, LI Keqing. Coverage optimization of wireless sensor networks based on artificial fish swarm algorithm[J]. Application Research of Computers, 2013, 30(2): 554-556.
- [7] 王明亮, 闵新力, 薛君志. 基于改进人工鱼群算法的WSN覆盖优化策略[J]. 微电子学与计算机, 2015, 32(6): 78-81.
WANG Mingliang, MIN Xinli, XXUE Junzhi. Coverage optimization strategy of wireless sensor network based on improved artificial fish swarm algorithm[J]. Microelectronics and Computer, 2015, 32(6): 78-81.
- [8] 李志武. 人工鱼群算法的改进及在无线传感器网络覆盖优化的应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
- [9] 廖灿星, 张平, 李行善, 等. 基于混合人工鱼群算法的传感器网络优化[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(3): 373-377.
- LIAO Canxing, ZHANG Ping, LI Xingshan, et al. Optimal deployment in sensor networks based on hybrid artificial fish school algorithm[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2010, 36(3): 373-377.
- [10] 党小超, 杨冬冬, 郝占军. 基于虚拟力的传感器网络三维覆盖算法[J]. 计算机应用, 2015, 35(11): 3021-3025.
DANG Xiaochao, YANG Dongdong, HAO Zhanjun. Three-dimensional coverage algorithm based on virtual force in sensor network[J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(11): 3021-3025.
- [11] 肖甫, 王汝传, 孙力娟, 等. 一种面向三维感知的无线多媒体传感器网络覆盖增强算法[J]. 电子学报, 2012, 40(1): 167-172.
XIAO Fu, WANG Ruchuan, SUN Lijuan, et al. Coverage-enhancing algorithm for wireless multi-media sensor networks based on three-dimensional perception[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(1): 167-172.
- [12] 张美燕, 蔡文郁, 周丽萍. 三维水下移动传感网多目标有向路径覆盖增强机制研究[J]. 传感技术学报, 2014, 27(1): 100-106.
ZHANG Meiyun, CAI Wenyu, ZHOU Liping. Research on directional path coverage enhancement algorithm of multiple objects in 3D underwater mobile sensor networks[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2014, 27(1): 100-106.
- [13] 伊廷华, 王传伟, 李宏男. 利用分布式狼群算法进行三维传感器优化布置的方法研究[J]. 振动工程学报, 2014, 27(5): 668-675.
YI Tinghua, WANG Chuanwei, LI Hongnan. Optimal triaxial sensor placement using distributed wolf algorithm[J]. Journal of Vibration Engineering, 2014, 27(5): 668-675.
- [14] 韩筛根, 陈驰, 王自桢. 配网用电压电流传感器误差在线测试装置设计及应用[J]. 高压电器, 2020, 56(12): 245-241.
HAN Shaigen, CHEN Chi, WANG Zizhen. Design and

- application of error online testing device for voltage and current sensors in distribution network[J]. High Voltage Apparatus, 2020, 56(12): 245-241.
- [15] 汤紫霖. 变电站工频电磁环境信息监测系统设计与实现[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- [16] 王云飞. 基于无线传感网络的变电站微气象环境监测研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- [17] 陈斌, 牛津文, 万红, 等. 变电站辅助设备监控系统三维建模及展示技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(13): 180-187.
CHEN Bin, NIU Jinwen, WAN Hong, et al. Research on three-dimensional modeling and display technology of a substation auxiliary equipment monitoring system [J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(13): 180-187.
- [18] 艾精文, 党晓婧, 吕启深, 等. 基于物联网的具有全景功能的全维度设备状态监测系统研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(16): 122-128.
AI Jingwen, DANG Xiaojing, LV Qishen, et al. Research on full dimension equipment status monitoring system with panoramic function [J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(16): 122-128.
- [19] 吴帅, 孙力娟, 肖甫, 等. 面向三维的无线传感器网络覆盖增强算法[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(S2): 106-110.
WU Shuai, SUN Lijuan, XIAO Fu, et al. A coverage-enhancing algorithm for the three-dimensional wireless sensor networks [J]. Journal of Computer Research and Development, 2011, 48(S2): 106-110.
- [20] 阳晓明, 吕红芳, 朱辉. 基于改进人工鱼群算法的配电网网络重构[J]. 电测与仪表, 2020, 57(17): 72-78.
YANG Xiaoming, LV Hongfang, ZHU Hui. Reconfiguration of distribution network based on improved artificial fish swarm algorithm [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(17): 72-78.
- [21] 胡珏, 韦钢, 谢素娟, 等. 基于人工鱼群算法的主动配电网故障定位[J]. 智慧电力, 2020, 48(6): 112-118 + 124.
HU Jue, WEI Gang, XIE Sujuan, et al. Active distribution network fault location based on artificial fish swarm algorithm [J]. Smart Power, 2020, 48(6): 112-118 + 124.
- [22] 曹一家, 何杰, 黄小庆, 等. 物联网技术在输变电设备状态监测中的应用[J]. 电力科学与技术学报, 2012, 27(3): 16-27.
CAO Yijia, HE Jie, HUANG Xiaoqing, et al. Application of the internet of things technology in power transmission equipments condition monitoring [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2012, 27(3): 16-27.