

基于高分辨率卫星影像的输电走廊植被生长预警

刘凤莲¹, 曹永兴¹, 高润明², 朱 军¹, 卜祥航¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072; 2. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 611756)

摘 要:为从卫星影像中提取出输电走廊的信息, 提出一种基于高分二号遥感影像的输电走廊信息提取方法。首先基于低分辨率多光谱影像进行加权灰度变换并实现影像二值化, 利用影像边缘检测和直线检测方法提取输电线路和杆塔的信息。然后, 利用最小距离法对融合后的高分辨率影像进行植被精细识别, 并计算植被覆盖指数。最后, 在植被分布影像中重构输电线路, 并结合植被覆盖指数对植被威胁区域进行预警。仿真结果表明: 利用边缘检测对二值化影像进行杆塔提取识别率达到 100%, 融合后的植被分布影像轮廓清晰, 对地物植被覆盖区域识别精度达到了 90% 以上, 结合植被覆盖指数给出的预警区存在植被生长茂密, 威胁输电线路运行的情况。该方法实现输电走廊植被生长预警, 能够运用于电力行业的输电安全在线监测。

关 键 词: 高分二号; 输电走廊; 影像融合; 输电杆塔; 植被识别; 加权灰度变换

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2021.03.023 中图分类号: TM755 文章编号: 1673-9140(2021)03-0188-07

Forewarning of vegetation growth in transmission corridor based on high resolution satellite images

LIU Fenglian¹, CAO Yongxing¹, GAO Runming², ZHU Jun¹, BU Xianghang¹

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China; 2. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: In order to extract the information of transmission corridor from satellite images, a method based on the high-resolution remote sensing image No. 2 is proposed. Firstly, the weighted gray-scale transformation based on low-resolution multi-spectral images is applied to obtain binary images. The information of transmission lines and towers is extracted by image edge detection and line detection methods. Then, the fused high-resolution images are identified by the minimum distance method, and the vegetation coverage index is calculated. Finally, the transmission line is reconstructed in the vegetation distribution image, and the vegetation coverage index is utilized to warn the vegetation threatening areas. The simulation results show that the recognition rate of pole and tower extraction from binary image by edge detection is 100%, the contour of the fused vegetation distribution image is clear, and the recognition accuracy of vegetation coverage area is over 90%. Combined with the vegetation coverage index, the early

收稿日期: 2019-08-23; 修回日期: 2020-03-30

基金项目: 国网四川省电力有限公司科技项目(521997170013)

通信作者: 高润明(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事输变电设备外绝缘及输电线路防护研究; E-mail: grm1995@163.com

warning area has dense vegetation growth, which threatens the safe operation of transmission lines. The proposed method realizes the early warning of vegetation growth in the transmission corridor, and can be applied in the transmission safety on-line monitoring of power industry.

Key words: high score No. 2; transmission corridor; image fusion; transmission tower; vegetation recognition; weighted gray transformatio

电力作为国民生活保证的一种重要能源,其重要性不言而喻,其中输电线路的建设是保障电力正常供应的重要一环。由于输电工程的特殊性,一些远距离输电工程常常建设在山区,称之为“输电走廊”。山区地势复杂,植被茂密,随着植被生长,线路可能遭受山火^[1]、树障以及鸟害等危害,影响电能传输。电力部门通常的做法是派工人进行巡逻,但偏远山区输电线路的巡检难度大,使得人们难以对线路遭受威胁的程度进行正确的评判,因此实现一种广域的输电走廊监测预警方法是近年来电力部门急切关注的问题^[2-3]。

随着国内遥感技术的发展,越来越多的行业利用卫星遥感进行地面识别和目标监测。文献[4]以新发射的哨兵 2 号多光谱卫星影像为基础数据源,通过融合后的影像数据实现了水体的半自动识别。文献[5]以国土资源三号(ZY-3)卫星多光谱影像为数据源,借助影像二次阈值化处理实现了对积雪的判别划分。文献[6]设计了一种基于高分辨率卫星影像的道路提取方法,采用边缘检测和直线检测算法实现了地面道路提取。利用高分辨率卫星影像进行输电走廊的监测和预警具有如监测范围广、信息时效性高等优点。目前在电力领域,针对输电走廊已经开展了无人机巡检的方法,提出利用无人机巡检输电线路螺栓状态^[7],但鲜有针对输电走廊广域识别和监测的研究。无论是树木与线路安全距离的监测,还是山火威胁预警,实现输电走廊经过植被区域的识别和预警都是重要的前提条件,如何利用卫星影像实现这一目标变得十分重要。

高分二号卫星具有多个采集通道,可以实现地物的亚米级遥感,该类型的数据在遥感领域堪称“黄金数据”,因此该文采用融合前的 4 m 空间分辨率多光谱影像进行输电线路的识别和提取,利用融合后 1 m 空间分辨率影像进行植被形貌的识别,最后将输电线路和植被分类信息融合,得到输电走廊的

植被分布信息,并实现植被威胁预警。

1 数据准备

1.1 数据获取

该文以四川省凉山州某地为研究区域,选取 2018 年 10 月 27 日获取的一景高分二号影像作为数据源,下载于遥感集市平台。该影像由 2014 年 8 月 19 日发射的高分二号卫星采集,地面采集条件良好,光线充足,无云雾遮挡,地物成像清晰,满足后续使用。如图 1 所示,该影像包括约 4 m 空间分辨率的 4 波段多光谱影像(蓝、绿、红、红外波段)和约 1 m 空间分辨率的全色波段影像(450~900 nm),影像由平原、建筑区以及山区构成,山区植被茂密,长势旺盛,在该地区架设有 110 kV 输电走廊。



(a) 多光谱影像

(b) 全色图像

图 1 高分二号影像

Figure 1 High resolution number two image

1.2 数据预处理

高分二号遥感影像会受到大气传输、太阳光、传感器自身缺陷等因素的影响,导致地物的光谱反射率失真^[8]。该文原始数据经过波段配准,消除了太阳光照强度和传感器自身的噪声影响,因此该文的影像预处理仅包含大气校正,该步骤可以消除大气传输过程中大气气溶胶颗粒对光线的散射作用,能解决影像的失真问题。传统的高分二号数据预处理方法包括:正射校正、影像配准、影像融合、大气校正。其预处理流程如图 2 所示。

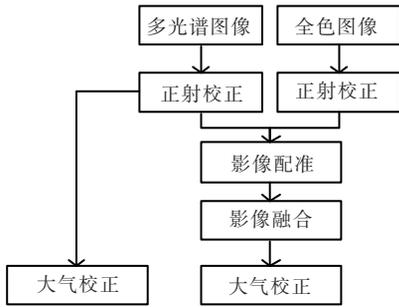


图 2 多光谱影像预处理流程

Figure 2 Multispectral image pretreatment process

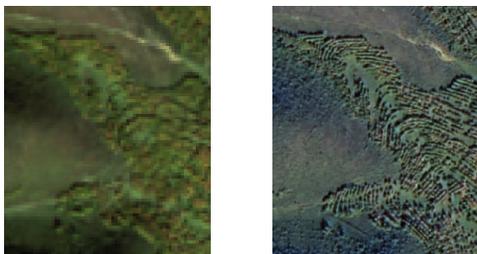
1) 正射校正。正射校正主要是消除影像由于地形变化和传感器精度而产生的影像像素点位移或者畸变,该步骤通过选取影像控制点,插入数字高程模型(digital elevation model, DEM),对影像进行重采样绘制正射影像。

2) 影像配准。影像配准是影像融合的前期处理,待融合影像的精确配准对融合后影像质量有很大的提高。

3) 影像融合。遥感影像融合是将多幅影像所具有的优点进行融合,以期在同一幅影像上展现这些特征。例如空间分辨率高的影像其波段少,地物的轮廓以及细节更加清晰,但难以利用波普信息实现地物的精确识别。波段多的影像其空间分辨率低,成像效果差,地物轮廓不清晰,该文采用 NND 融合算法,该算法由美国罗彻斯特理工学院于 2014 年提出^[9],利用高分辨率全色 PAN 影像通过线性回归获取光谱贡献向量 T , T 实际上是一个权重向量,可以借此获得高分辨多光谱影像,其过程为

$$M(x, y) = P(u, v) \times T^{-1} + \epsilon \quad (1)$$

式中 $M(x, y)$ 为高分辨率多光谱像素的反射率; $P(u, v)$ 为全色波谱反射率。影像数据融合前后效果如图 3 所示。



(a) 融合前部分影像 (b) 融合后部分影像

图 3 影像融合效果

Figure 3 Image fusion effect

4) 大气校正。大气校正就是为了消除大气和光照对地物反射率的影响。

2 研究方法 及 结果分析

2.1 影像加权灰度变换

高分二号多光谱影像数据不同于普通的 GRB 三波段影像,还包含了红外波段,不同的地物在不同的波段上波谱反射规律也不一致。如图 4 所示,不同地物 4 个波段反射波谱存在差异,杆塔和线路由于金属结构居多,在可见光波段对光谱的反射明显高于植被,特别是蓝光波段的反射率明显高于其他,因此可以利用此波段反射值筛选杆塔及输电线路。

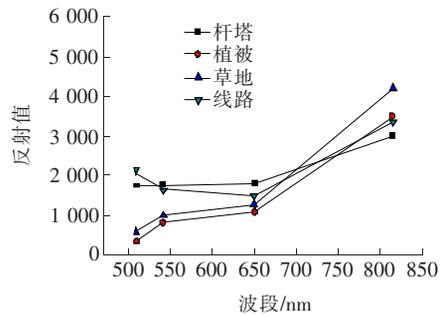


图 4 不同地物多光谱反射值

Figure 4 Multi-spectral reflectance of different features

灰度变换能够突出目标信息,对于后期的影像处理具有重要的意义。常用的单一波段灰度变换较为简单,选取某一个波段的反射值作为灰度图的亮度值,其过程为

$$G = 255 \times \frac{b_n}{\max(b)} \quad (2)$$

式中 G 为灰度值; $\max(b)$ 为反射率的最大值。

但仅使用一个波段的反射信息进行复杂的地物提取,其效果很难以保证。为了使目标的影像亮度能够明显进行识别,充分利用所有波段信息,该文提出采用加权灰度变换的方式从影像中提取输电线路及杆塔信息。根据图 4 的结果,波段 1 的反射值很大程度上能够表征线路和杆塔的特征,因此给此波段赋予较大的正权值,然后依次是波段 2 与 3。波段 4 的反射值和前面波段负相关,因此赋予较小的负权值。其加权灰度变换过程为

$$G = 255 \times \frac{(K_1 \times b_1 + K_2 \times b_2 + K_3 \times b_3 - K_4 \times b_4)}{\max(b)} \quad (3)$$

式中 b_1, b_2, b_3, b_4 分别为不同波段; K_n 为对应波段的权重。

单波段灰度变换和加权灰度变换后的影像灰度如图 5 所示。图 5(a)地物亮度差异不大,杆塔以及线路的灰度特征没有表现出来,以至于后续提取效果不好。而图 5(b)图像整体亮度很低,但植被中的杆塔和地物的亮度体现出了差异性,加权灰度变换保留了杆塔强反射特征,削弱了地物的强反射特征。

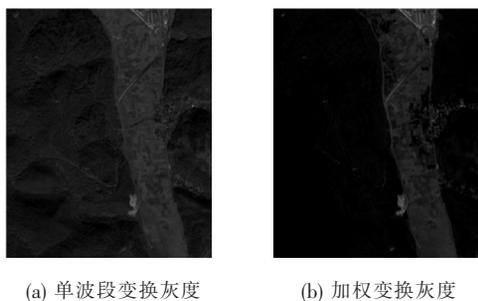


图 5 不同方法处理多光谱灰度影像

Figure 5 Different methods for multi-spectral grayscale images process

2.2 影像二值化处理和 Canny 边缘检测

影像二值化算法是按照一定的阈值对影像进行重采样,一般灰度图中大于阈值的像素点亮度设置为 255,小于阈值的像素点亮度设置为 0。采用此方法对图 5 进行处理,分别得到处理后的二值影像如图 6 所示。

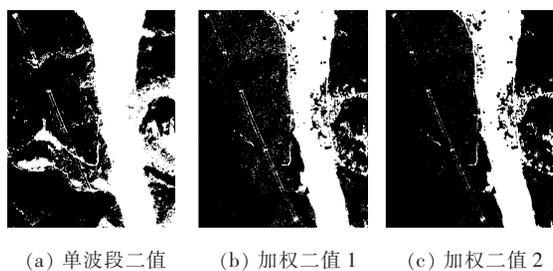


图 6 影像二值化

Figure 6 Image binaryzation

由图 6(a)可知,单波段灰度影像没有完全提取所有波段的信息,灰度变换后影像灰度值大面积存在相同或者相近,因此难以通过设置阈值进行合适的线路信息提取。如果阈值太小,保留了多余的地面信息,阈值太大,线路也同时被滤除。由图 6(b)~(c)可知,加权灰度变换后进行二值化,由于亮度值的差异,植被和其他地面较暗的信息被较好滤除,使得目

标线路信息成功提取。加权灰度变换具有不同的权值,分别为 0.4、0.4、0.1、-0.1 和 0.4、0.4、0.05、-0.15。图 6(b)中线路的连续性不如图 6(c),不过具有较少干扰信息和较完整线路信息,便于杆塔提取想要的信息,因此利用前者进行后续的处理。

Canny 边缘检测是提取影像结构信息,并减少要处理数据量的一种算法,其步骤主要包括影像平滑、梯度计算、抑制杂散响应、孤立弱边缘^[10-15]。由于其检测效果准确和检测步骤简单,成为了边缘检测最流行的算法之一。在灰度图中,有一定规则形状的物体便于识别,因此该文尝试利用该方法对图 5(a)、(b)进行边缘提取,得到所需要的输电走廊杆塔信息。图 7 为杆塔的提取结果,在植被区共有 5 个目标,编号 #1、#2、#3、#4、#5。基于单波段灰度变换影像进行杆塔提取,提取出 #2、#3、#4 杆塔;基于加权灰度变换影像进行杆塔提取,提取出 #1、#2、#3、#4、#5 杆塔。

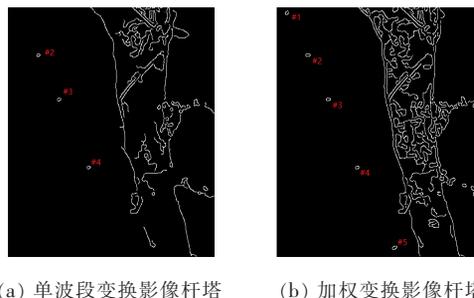


图 7 Canny 边缘检测的杆塔轮廓提取

Figure 7 Extraction of pylon contour based on Canny edge detection

3.3 低分辨率多光谱线路提取

结合杆塔位置和二值影像中的直线信息,对输电线路进行重构。以 2 座相近杆塔的连线作为基准,在直线上的亮像素点保留,不在直线上的亮点滤除,并对直线上亮像素点缺失部分进行膨胀补充,最后得到该地区完整的输电线路及杆塔影像图 8(a)。图 8(b)来源于开源卫星地图,通过目视解译,可以标记出 5 座杆塔的位置,如图中的标定位置,通过验证说明通过边缘检测能够实现多光谱影像中的杆塔识别,单波段灰度变换影像的杆塔识别正确率为 60%,加权灰度变换影像的杆塔识别正确率为 100%。

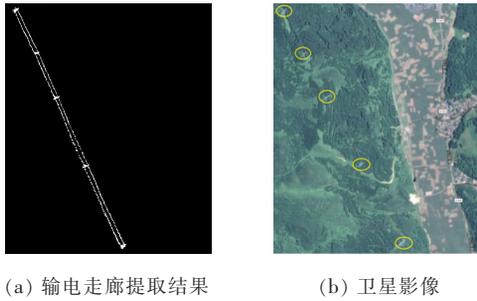


图 8 输电走廊提取结果

Figure 8 Extraction results of transmission corridor

2.4 高分辨率多光谱植被信息及输电线路重构预警

欧式最小距离是一种监督分类算法,该方法能够从影像的像素层面进行分类,其分类过程如下。

某个像元的多光谱反射集为

$$L = (l_1, l_2, l_3, l_4) \quad (4)$$

式中 l_n 为像素点在 n 波段的反射值。

采用目视解译的方式对原始光谱影像中的地物进行地物波谱采集,建立标准波谱库,即

$$S = (s_{k1}, s_{k2}, s_{k3}, s_{k4}) \quad (5)$$

式中 k 代表地被定义的类别标签。

经计算得到一个最小欧氏距离为

$$P_k = \sqrt{(s_{k1} - l_1)^2 + \dots + (s_{k4} - l_4)^2} \quad (6)$$

即可将该像素点的类别定义为第 k 类。

该文采用融合后的多光谱影像进行植被信息提取,将地物分类为树木、草地、裸土、建筑物、农田,其分类效果如图 9 所示。

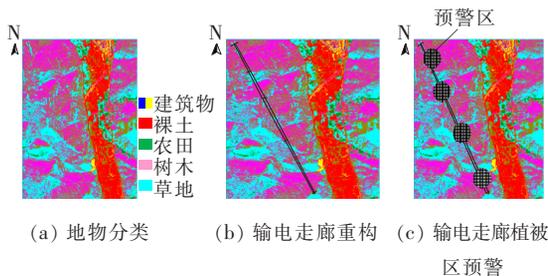


图 9 输电走廊重建和风险预警

Figure 9 Reconstruction and risk early warning of transmission corridors

根据卫星影像及现场调研从影像中随机选取每类地物 200 个点作为参考样本,通过与监督分类结果进行对比,统计得到分类统计如表 1。分类的整体准确率(overall accuracy, OA)为 92.3%, kappa

系数为 0.904。该地影像中间区域为农田和裸土区,植被覆盖极少,山谷两岸为山区。从分类结果看,山区以树木和草坪为主,其中树木茂密的地区可能面临生长过快、森林火灾以及鸟粪危害等问题,引起线路闪络,造成电力系统停运。结合图 8(a)对地物分布图进行重采样,以绘制出精准的输电走廊的位置。由图 9(b)可知,输电走廊西北—东南走向,所经过地区多为树木区,少部分线路下方为草地,周围无其他建筑物。计算图 9(a)植被覆盖指数,给出了植被危险区域的预警示意图如图 9(c)所示。预警区域为线路和植被覆盖度较高的区域,图中给出了 4 个预警区域,结合卫星地图目视解译,预警区域与实际情况相符,需要相关巡检人员或技术人员重点关注。

表 1 典型地物分类统计

Table 1 Classification statistic results of typical features

| 类别 | 建筑物 | 裸土 | 农田 | 树木 | 草地 | 总计 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 建筑物 | 175 | 7 | 0 | 0 | 0 | 182 |
| 裸土 | 25 | 189 | 6 | 0 | 0 | 220 |
| 农田 | 0 | 4 | 183 | 0 | 5 | 192 |
| 树木 | 0 | 0 | 0 | 195 | 14 | 209 |
| 草地 | 0 | 0 | 11 | 5 | 181 | 197 |
| 总计 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 1 000 |
| 错分率 | 0.125 | 0.055 | 0.085 | 0.025 | 0.095 | 0.077 |
| Kappa:0.904 OA:92.3% | | | | | | |

3 讨论

目前,植被生长给输电走廊带来的主要问题有山火灾害、树枝侵入等。山火主要发生在树木茂盛区域,空气干燥的季节,因此在该文的研究基础上可以实现山火等灾害的预警。而输电走廊面临的树枝侵入问题,涉及到输电线路和树枝空间距离计算的问题,需要借助其他测距方法进行监测,例如现在较为成熟的 Lidar 点云技术,相关技术已经在电力部门开始推广,但电力建设地域覆盖面极大,很难准确获取监测区域,该文的研究方法能够很好地与相关技术进行结合。首先获取广域范围内的植被预警信息,在可能存在植被侵入的区域进行空中勘测,然后

进行危险区域的解除,最终形成空—天—地—一体化的智能电网监测手段,推动电力建设的发展。

4 结语

该文基于高分二号多光谱遥感影像,提出一种输电走廊信息提取和植被威胁预警方法。充分利用高分二号遥感影像低分辨率和高分辨率融合影像的优点分别进行输电走廊信息和地面植被覆盖的提取,并进行输电线路的预警。

1)低分辨率影像由于空间分辨率低,不能进行植被分布信息的精细提取,但与融合后的影像相比,其完整地保留了杆塔及线路的原始空间信息,可以用于输电走廊的提取与重构。而融合后的高分辨率影像丧失了原始影像中杆塔及部分相关信息,不宜用于输电走廊重构,但空间分辨率更高,因此可以用于植被分布的精细识别。

2)使用不同的影像灰度方式对后续的线路提取或者杆塔提取效果有很大的影响,采用加权灰度变化后的影像中,杆塔、线路和周围植被有了很好的区分性,杆塔识别准确率达到100%。

3)利用融合影像进行地物分类,植被识别准确率达到90%,kappa系数为0.904,在此基础上重构输电线路并结合植被覆盖指数对输电线路进行预警,所给出的4个预警区域均存在植被生长茂密的问题。

参考文献:

- [1] 吴田,刘凯,刘庭,等.山火对输电线路设备及外绝缘影响分析[J].电力科学与技术学报,2013,28(3):83-89.
WU Tian,LIU Kai,LIU Ting,et al. Analysis of wild-fire impact on transmission line equipment and external-insulation[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2013,28(3):83-89.
- [2] 唐波,李耀伟,叶莉,等.基于模糊综合评价法的输电线路山火遥感甄别算法[J].中国电力,2019,52(11):60-67.
TANG Bo,LI Yaowei,YE Li,et al. Remote sensing discrimination algorithm for transmission line forest fire based on fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Electric Power,2019,52(11):60-67.
- [3] 粮龙亚,傅宁,汪玉成,等.北斗系统在输电线路防灾监测中的研究与应用[J].电力信息与通信技术,2018,16(6):52-56.
LANG Longya,FU Ning,Wang Yucheng,et al. Research and application of beidou system in disaster prevention monitoring of transmission lines[J]. Electric Power Information and Communication Technology,2018,16(6):52-56.
- [4] 蒋丹丹,原娟,武文娟,等.基于 Sentinel-2 卫星影像的面向对象城市水体提取[J].地理空间信息,2019(5):10-13+5.
JIANG Dandan,YUAN Juan,WU Wenjuan,et al. Object-oriented city water extraction based on Sentinel-2 satellite image[J]. Geospatial Information,2019(5):10-13+5.
- [5] 饶超平,肖博文,严星,等.基于 Seq2Seq 技术的输电线路故障类型识别方法[J].智慧电力,2020,48(5):99-105+110.
RAO Chaoping,XIAO Bowen,YAN Xing,et al. Fault-type recognition method of transmission line based on Seq2Seq technology[J]. Smart Power,2020,48(5):99-105+110.
- [6] 陈文灿,孟晓波,张海鹏,等.输电杆塔塔脚腐蚀现场实时监测系统的研制[J].高压电器,2020,56(12):196-202.
CHEN Wencan,MENG Xiaobo,ZHANG Haipeng,et al. Development of on-site real-time monitoring system for corrosion of power transmission tower feet[J]. High Voltage Apparatus,2020,56(12):196-202.
- [7] 冯敏,罗旺,余磊,等.适用于无人机巡检图像的输电线路螺栓检测方法[J].电力科学与技术学报,2018,33(4):135-140.
FENG Min,LUO Wang,YU Lei,et al. Transmission line bolt detection method suitable for UAV inspection image[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2018,33(4):135-140.
- [8] 杨剑锋,秦钟,庞小龙,等.基于深度学习网络的输电线路异物入侵监测和识别方法[J].电力系统保护与控制,2021,49(4):37-44.
YANG Jianfeng,QINZhong,PANGXiaolong,et al. Foreign body intrusion monitoring and recognition method based on Dense-YOLO v3 deep learning network[J].

- Power System Protection and Control, 2021, 49(4): 37-44.
- [9] Sun W, Messinger D. Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening algorithm for spectral images[J]. Optical Engineering, 2014, 53(1): 013107.
- [10] 马捍超, 徐路强, 高宝琪, 等. 不同地形地貌对超特高压输电线路防雷性能影响分析研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(23): 37-42.
- MA Hanchao, XU Luqiang, GAO Baoqi, et al. Analysis of the influence of different terrain topography on lightning protection performance of UHV and EHV transmission line[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2019, 56(23): 37-42.
- [11] 何学明. 一种基于 Canny 检测算子的声呐图像边缘检测技术[J]. 公安海警学院学报, 2019, 18(2): 63-67.
- HE Mingxue. Edge detection technology of sonar image based on Canny detection operator[J]. Journal of China Maritime Police Academy. 2019, 18(2): 63-67.
- [12] 王龙, 张秀丽, 何春晖, 等. 球单元 DDA 在山区输电线路塔位防灾优化中的应用研究[J]. 电网与清洁能源, 2019, 35(6): 23-27+51.
- WANG Long, ZHANG Xiuli, HE Chunhui, et al. Researches on optimal design and disaster prevention of transmission line tower in mountainous areas by sphere discontinuous deformation analysis method[J]. Power System and Clean Energy, 2019, 35(6): 23-27+51.
- [13] 张月圆, 曾庆化, 刘建业, 等. 基于 Canny 的改进图像边缘检测算法[J]. 导航与控制, 2019, 18(1): 84-90.
- ZHANG Yueyuan, ZENG Qinghua, LIU Jianye, et al. Improved image edge detection algorithm based on Canny[J]. Navigation and Control. 2019, 18(1): 84-90.
- [14] 闫康, 汪佛池, 张重远. 基于 Canny 算子的复合绝缘子憎水性图像边缘检测[J]. 电力科学与技术学报, 2013, 28(3): 45-49+56.
- YAN Kang, WANG Fochi, ZHANG Zhongyuan. Edge detection of hydrophobic water-based image of composite insulator based on Canny operator[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2013, 28(3): 45-49+56.
- [15] 陈强, 王建, 熊小伏, 等. 一种降雨诱发滑坡灾害下输电杆塔的监测与预警方法[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 147-155.
- CHEN Qiang, WANG Jian, XIONG Xiaofu, et al. Monitoring and early warning method for transmission tower under rainfall-induced landslide disaster[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3): 147-155.