

引用本文:孔小红,蒋陵,管翰林,等.基于ADSS光缆弧垂的在线监测及环境隐患预警算法[J].光通信技术,2023,47(4):79-84.

基于ADSS光缆弧垂的在线监测及环境隐患预警算法

孔小红¹,蒋陵¹,管翰林¹,王驭扬¹,张灿¹,石伟伟²,陈乐²

(1.国网江苏省电力有限公司南京供电分公司,南京210019;2.江苏量为石科技股份有限公司,南京210046)

摘要:由于恶劣的自然环境和光缆本身弧度的变化会影响全介质自承式(ADSS)光缆传输效率,同时一些如施工或超高车辆及烟火等环境隐患也会严重威胁其正常运行,提出了基于ADSS光缆弧垂在线监测及环境隐患预警算法。首先,采用倾角测量法对弧度进行实时监测;然后,对YOLOv4检测算法进行改进,并设计了可视化智能融合终端;最后,将所提算法与其它算法进行对比实验。实验结果表明:所提算法的平均精度为96.43%,实现了对通信光缆运行状态的实时监测、数据处理与故障分析和智能隐患异常报警,并集成融合为ADSS光缆在线监测可视化智能终端。

关键词:全介质自承式光缆;YOLOv4;弧垂监测

中图分类号:TN929.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-5561(2023)04-0079-06

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.04.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Online monitoring and environmental hazard warning algorithm based on ADSS cable sag

KONG Xiaohong¹, JIANG Ling¹, GUAN Hanlin¹, WANG Yuyang¹, ZHANG Can¹, SHI Weiwei², CHEN Le²

(1. Nanjing Power Supply Branch, State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210019, China;

2. Jiangsu Liangweishi Technology Co., Ltd., Nanjing 210046, China)

Abstract: Due to the harsh natural environment and the change in the arc of the cable itself will affect the transmission efficiency of the all-medium self-supporting(ADSS) cable, and some environmental hazards such as construction or ultra-high vehicles and fireworks will seriously threaten its normal operation, an ADSS optical cable sag online monitoring and environmental hazard warning algorithm is proposed. Firstly, the angle measurement method is used to monitor the radian in real time. Then, the detection algorithm of YOLOv4 is improved, and the visual intelligent fusion terminal is designed. Finally, the proposed algorithm is compared with other algorithms. The experimental results show that the average accuracy of the proposed algorithm is 96.43%, which realizes real-time monitoring, data processing, fault analysis and intelligent hidden danger alarm of the communication optical cable running state, and integrates into the ADSS optical cable online monitoring visual intelligent terminal.

Key words: all dielectric self supporting optical cable, you only look once version 4, sag monitor

0 引言

全介质自承式(ADSS)光缆^[1-4]具有抗雷击、抗电磁干扰、重量轻、施工方便等优点,因此在电力系统中被广泛应用。但是,ADSS光缆受风、雨、雪、雾等恶劣天

气的影响,容易出现性能恶化、损坏等现象,导致弧垂下降和断线等问题,直接影响了ADSS光缆的使用寿命、使用质量以及电力系统的正常运行。如今,ADSS光缆故障大多是以预防维护为主,故障发生后识别故障的时间长,且排查故障的时间更长;此外,ADSS光缆位于输电线路的最下方,与输电导线相同,易受到超高车辆作业、线下山火等外破隐患影响。因此,对ADSS光缆进行实时严密监测,将ADSS故障问题从被动维护变为主动监测,对减少故障检测时间和提升故障排除效率具有重大意义。目前,市面上对光缆排障的方式有如下几种^[5-9]:①以“电晕摄像机”为载体,对其2个不同波段下的对象展开电晕成像,将获取的信息予以叠加,通过显示屏将其信号予以展示,完成光

收稿日期:2022-10-08。

基金项目:国网江苏省电力有限公司科技项目(项目编号:J2023074)资助。

作者简介:孔小红(1966—),男,江苏南京人,本科,高级工程师,南京供电公司信息通信分公司副主任,长期从事电力系统自动化、信息通信技术生产管理及技术研究工作,所负责科技项目曾获得多项省部级、地市级奖励。



孔小红,蒋陵,管翰林,等. 基于 ADSS 光缆弧垂的在线监测及环境隐患预警算法

缆运行的监测。虽然这种方式比较可靠,但由于监测过程中需要较多的探头协同工作,导致其成本较高。②根据自发喇曼散射强度对温度敏感的原理来实施监测。这种方式灵敏度不高,对于一些断缆或者冰层覆盖的问题无法精准识别。③根据自发布里渊散射频移对温度或应变敏感的原理予以监测。这种方式受信号较弱的影响,只能在一定范围内测量。这3种方法只能对光缆的温度、弧垂或外部环境中的一个因素进行单一监测。

针对这种局限性,本文提出一种基于 ADSS 光缆弧垂在线监测及环境隐患预警算法,并设计可视化智能融合终端,实现对电力光缆可视化、温湿度和弧垂等多维数据的在线监测,提高隐患定性的准确性。

1 基于 ADSS 光缆弧垂在线监测及环境隐患预警算法

目前,我国和很多发达国家在对输电线路弧垂对地高度测量过程中,最常用的测量方式是现场勘测、视频监控、图像采集、倾角及温度监测等。其中,现场勘测最为实用、可靠,但是对工作人员的精力、时间等要求较高,且加上现场环境不同,设置、操作难度都略微复杂。而视频监控、图像采集、倾角及温度监测这些方式对设备的要求和成本较高。基于此,本文首先研究基于倾角阈值的弧垂监测方法,然后对 YOLOv4 (You Only Look Once version 4) 算法^[10-12]进行改进,最后设计一种可视化智能融合终端。

1.1 基于倾角阈值的弧垂监测方法

由于架空输电线路的档距一般都很大,导线的刚性对悬挂导线自身几何形状影响很小,因此可将其视为一根柔索,示意图如图1所示。本文采用悬链线方程计算弧垂对地高度。

A、B 两点间架空导线的弧垂曲线(图中红色弧线)示意图如图1所示。其中: h 是高差, I_{OA} 是 O、A 之间的长度, I_{OB} 是 O、B 之间的长度, h_1 是 A 点到地面的距离, h_2 是 B 点到地面的距离, r 是 A、B 两点连线中点弧垂高度, H 是 A 和 B 两点连线中点弧垂对地高度。本文以弧垂最低点为坐标原点建立坐标系。为了方便分析,选取一小部分导线中的 P 点进行分析,示意图如图2所示。任意选取一点 P, F 表示 P 点处的受力情况, L 为坐标原点到 P 点之间的距离

为了便于受力分析,将该图中的导线分离出一小段,对导线 P 点进行受力后分析可得

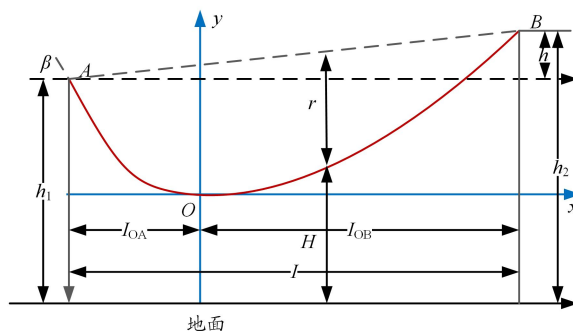


图1 导线弧垂示意图

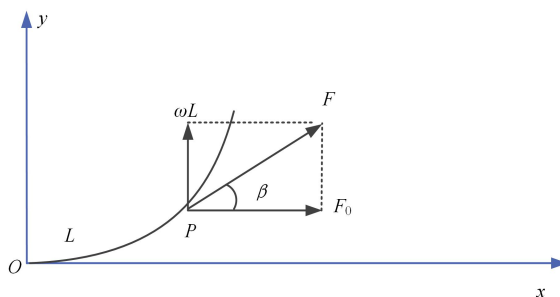


图2 部分导线示意图

$$\tan\beta = \frac{\omega}{F_0} L \quad (1)$$

其中, F_0 为导线最低点水平应力, ω 为单位长度荷载。

设 $M = \frac{F_0}{\omega}$, 导线方程为

$$y_1 = M \cosh\left(\frac{1}{M} x\right) - M \quad (2)$$

A、B 直线方程为

$$y_2(x) = \frac{h}{I} (x + I_{OA}) + M \cosh\left(\frac{I_{OA}}{M}\right) - M \quad (3)$$

其中, I 为档距。

弧垂方程为

$$f(x) = y_2(x) - y_1(x) =$$

$$\frac{h}{I} (x + I_{OA}) + M \cosh\left(\frac{I_{OA}}{M}\right) - M \cosh\left(\frac{1}{M} x\right) \quad (4)$$

根据三角形原理,可得弧垂对地高度方程为

$$H(x) = h_1 + \frac{h}{I} I_{OA} - f(x) \quad (5)$$

在设计光缆架线时,输电线路与其它设施、树木、建筑物等物体的距离应根据最大弧垂和最大风偏角进行计算,并考虑架线后塑性伸长的影响。表1为 ADSS 光缆对地面及交叉跨越物的距离情况。当智能融合终端计算弧垂传感器采集到的数据超过了预先设定的阈值时,智能融合终端会立刻报警并联动可视化装置进行抓拍。

表 1 ADSS 光缆对地面及交叉跨越物的距离

跨越物类型	净距/m
居民区	6
铁路	7.5
公路	6
对房屋垂直距离	2.5
树木	1.5
对通信交叉距离	1

1.2 基于改进 YOLOv4 的光缆周围环境隐患检测

1.2.1 YOLOv4 网络结构

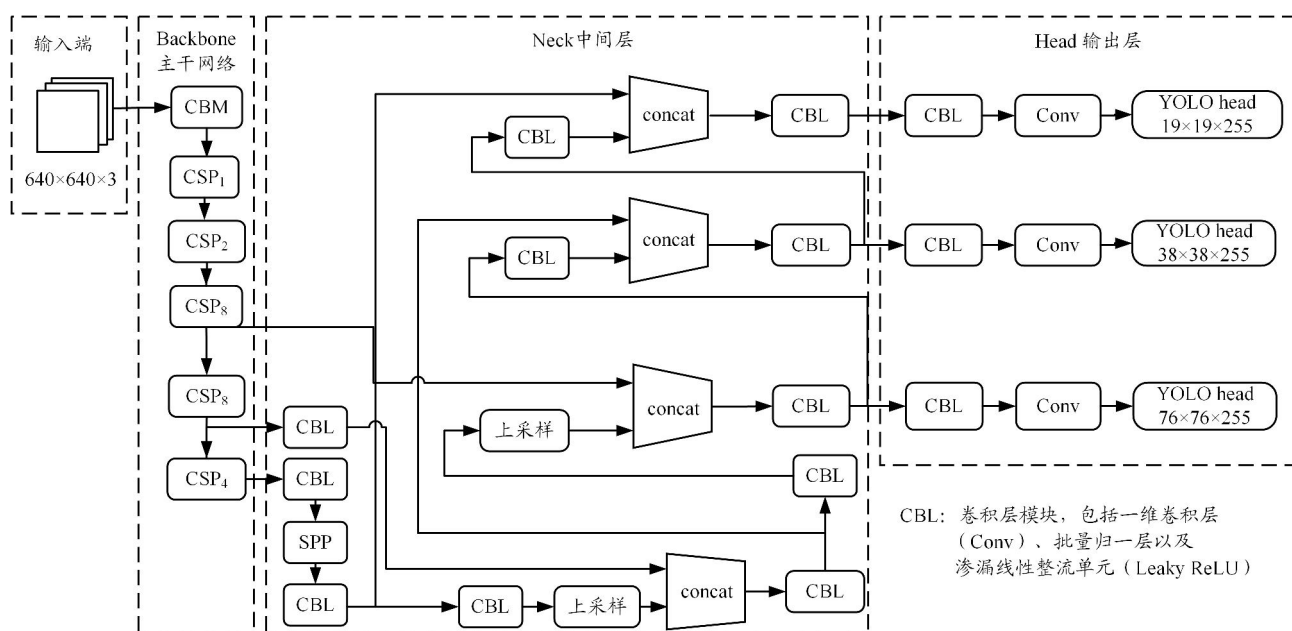
YOLOv4 网络结构如图 3 所示,该结构的整体框架包括输入端、Backbone 主干网络、Neck 中间层、Head 输出层。

图片从输入端进入 YOLOv4 网络,Backbone 主干网络采用了 CSPDarknet53 模块,其包括卷积模块(CBM)和多个交叉阶段部分连接模型(CSP_x)。其中,CBM 包括一维卷积层(Conv)、批量归一层以及 Mish 激活函数。Mish 激活函数可以对标准化后的卷积输出进行非线性变换,增强网络的表达能力。CSP_x 由 3 个 Conv 和残差单元模块叠加(Concat)组成,X 表示模块的深度或者缩放比例,残差单元让网络可以构建得更深。在主干网络之后,YOLOv4 使用空间金字塔池化(SPP)模块执行最大池化(MaxPool)操作来增加感受野,并分离重要的上下文特征。在 Neck 中间层,YOLOv4 在特征金字塔网络(FPN)的后面添加一个自底向上的特征自适应网络(PAN),两者是 Neck 中间层中的上采样、下采样的网络结构。在主干网络的

CSPDarknet53 中,每个 CSP 模块前面的卷积核大都是 3×3,相当于下采样操作。在完成下采样后,FPN 再自顶向下,通过上采样(放大图像)将高层信息与低层信息进行 Concat,但是 FPN 自顶向下只传达了强语义特征。在 FPN 之后添加 PAN,金字塔则自底向上传达强定位特征,两者结合可以从不同的主干层对不同的检测层进行特征聚合。最后,输出的 3 个不同规格的 YOLO Head 是可以识别大小不同的物体而生成的检测结果。

1.2.2 面向环境隐患检测的 YOLOv4 模型优化

为了提高提取到的特征信息量,YOLOv4 网络在其 Neck 中间层中使用 SPP 模块,该模块的作用是进行多尺度特征融合,通常由 1×1、5×5、9×9、13×13 这 4 个不同大小的池化核构成。4 个池化核均采用填充操作,将 Backbone 中处理得到的尺寸为 13×13 的特征图送入 SPP 模块,再通过步长(padding)为 2 且大小为 5×5 的池化核来保持 SPP 模块的输入,输出特征图的大小不变。由于 SPP 模块在进行下采样时只保留了最大的信息值,使得 YOLOv4 在进行这一步操作后将与目标信息相似的背景当作正确信息进行保存,忽略了目标信息数据,造成误检和漏检。因此,为了提高检测准确率,本文对 YOLOv4 的 SPP 模块进行改进,如图 4 所示。将原模块中的 5×5 最大池化修改为平均池化,使得目标信息在尺度融合时能够得到更多的保留,降低漏报与误报率;同时,将 SPP 模块输出的特征图与 52×52、26×26 大小的特征图一同送入 FPN+



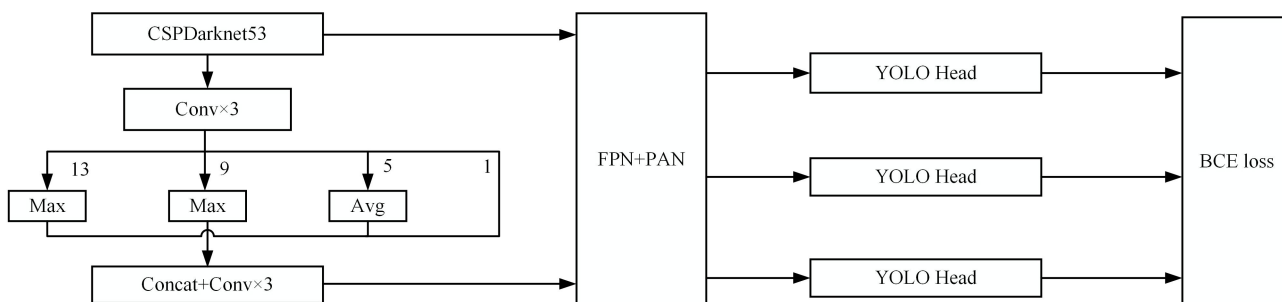


图 4 改进的 YOLOv4 网络结构

PAN 模块,以提升 YOLOv4 算法的目标识别精度。最后,本文对输出的 3 个不同规格的 YOLO Head 进行二进制交叉熵损失函数(BCE loss)计算,即对输出结果进行二分类问题的损失计算,计算预测框中是否存在目标的概率损失。该损失函数的值越小,说明模型目标检测得越准确。

2 ADSS 光缆智能终端设计与集成

本文设计一种可视化智能融合终端,该装置集成了可视化传感器、弧垂监测传感器、温湿度监测传感器、可视化智能融合终端等。其中,弧垂与温湿度传感器可实现对通道环境、光缆运行状态的监测;可视化传感器与智能融合终端可实现光缆通道内的外破隐患的自主识别告警,有效地解决现阶段面临的运维人员人手不够的问题,以实现 ADSS 光缆多维度的智能监测。

2.1 可视化传感器

可视化传感器采用双摄一体化的设计结构。其中,一个普光镜头采用工业级高清枪式摄像头,标配 1 600 万像素普光镜头;另一个夜视镜头采用星光级低照度摄像头,标配 200 万像素低照度镜头。前端分析拍照间隔默认 1 张/5 min,定时回传默认 1 张/h,且采样时间段可自由设置。设备拍照后前端分析,若识别隐患立即回传,无隐患则定时回传。由于传感器具有数字宽动态范围,能轻松驾驭弱光环境和夜间场景,满足 24 h 的监控需要,自动监测识别隐患并及时预警,实现输电线路可视化在线监测的功能。

2.2 弧垂监测传感器

弧垂监测传感器基于微电机系统(MEMS)传感技术与无线通信技术,在风力较大、雨夹雪等易覆冰天气下能实现对电力光缆弧垂的监测;同时,采用低功耗设计,配置电源动态管理策略,满足节电需求。此外,该传感器线圈感应取电,且支持带电安装。弧垂监测传感器详细参数如表 2 所示。

表 2 弧垂监测传感器参数

项目	技术参数
测量范围	幅度:0~10 m;频率:0.1~5 Hz
幅度测量分辨率	0.1 m
频率测量分辨率	0.1 Hz
工作环境	温度:-40~+85 ℃;相对湿度:≤100% 大气压力:550~1 060 hPa
适用对象	10~500 kV 高压输电线路

2.3 温湿度监测传感器

温湿度监测传感器与智慧终端设备为一体化设计,结构紧凑,避免了二次安装,其湿度量程为 0~100% RH,温度量程为-40~80 ℃,采集的气象数据由主机分析上传,实现对架空线路走廊局部气象环境的监测,无任何移动部件,坚固耐用。

2.4 终端工作流程

以智慧终端为基础,可视化智能融合终端融合了弧垂传感器^[13-15]、温湿度传感器,并对通道内的潜在隐患、气象数据、导线状态进行综合分析。同时,可根据实际需求设定温湿度、弧垂、倾角等监测数据的告警阈值,联动抓拍,在终端对现场环境进行智能分析,及时发现隐患,保障线路安全,从而解决现阶段运维人员面临的人手不够问题。可视化智能融合终端工作流程如图 5 所示。在未监测到异常情况时,各传感器依照设定周期采集数据并由融合智能终端回传,当温湿度传感器、弧垂传感器采集到的数据经过智能融合终端边缘计算超过了预先设定的阈值时,会立刻联动可视化装置进行抓拍,并在设备端对图片及数据进行分析,第一时间将分析结果及实际画面回传至后端。其中,弧垂传感器主要通过输入现场杆塔高度、弧垂模块的相对高度以及输出倾角、弧垂、相对弧垂等数值,直观地展现电缆的高度,并执行相应的防护措施。系统只需要输入档距、近端塔高度和远端塔高度等数据,再通过内置算法便可计算线路两端的倾角数据和弧垂数值(弧垂、弧垂对地距离)。

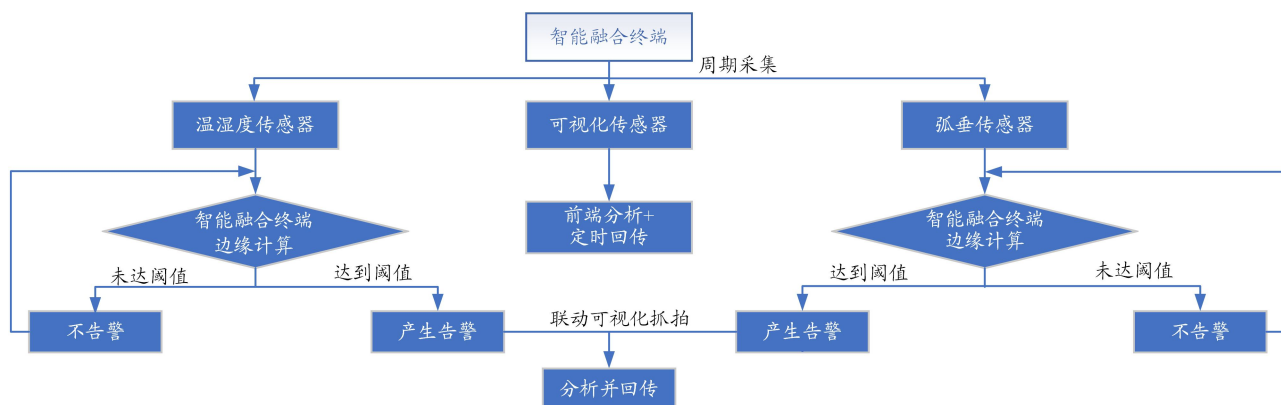


图5 可视化智能融合终端工作流程

3 实验结果及分析

3.1 环境隐患检测实验

3.1.1 数据集准备

数据原始图是由国家电网某市公司提供的,总计 10 663 张图片。其中,烟火图片共有 4 997 张,吊车图片共有 5 015 张,异物(包括风筝、鸟巢、气球等)图片共有 4 500 张。数据集类别具体数量如表 3 所示。

表3 数据集类别及数量

类别名称	训练集	测试集	合计
吊车	3 510	1 505	5 015
烟火	3 498	1 499	4 997
风筝	1 050	450	1 500
鸟巢	1 260	540	1 800
气球	840	360	1 200

3.1.2 实验平台及参数配置

实验平台选用 24G 显存和 128G 内存的 Centos 7 操作系统搭建 Darknet53 网络框架,CPU 型号为 Intel (R)Xeon(R) Glod5118 CPU@2.3GHz,GPU 型号为 GeForce RTX2080T,编程环境为 Python。

3.1.3 实验对比

在数据集上,本文对 Faster-RCNN(faste Region-CNN)、单次检测多框探测器(SSD)、YOLOv4 算法、改

进的 YOLOv4 算法进行对比实验,结果如表 4 所示。可以看出,虽然 Faster-RCNN 算法平均精度较高,但其每秒传输帧数较低;SSD 算法每秒传输帧数最高,但其平均精度较低;而 YOLOv4 算法的平均精度略低于 Faster-RCNN,每秒传输帧数和 SSD 算法差不多,兼具精度和速度。因此,本文以 YOLOv4 算法的检测结果作为基准,并将其作为目标检测的基本算法对比检测结果。由 YOLOv4 算法和改进的 YOLOv4 算法的结果可知,后者的平均精度更高,其每秒传输帧数也仅次于 YOLOv4 算法,在保证传输速度的同时又提高了平均精度。此外,本文还分别对周围可能影响光缆的因素进行检测,比如挖掘机、烟火、异物和夜间监控等。YOLOv4 算法和改进的 YOLOv4 算法的检测结果如图 6 所示,红框内容为识别出来的目标。可以看出,改进后的 YOLOv4 算法检测精度有所提高,能准确检测出所有异物,几乎无漏检和误检的情况。因此,改进的 YOLOv4 算法具有更好的综合性能。

表4 不同算法对比

算法	平均精度	每秒传输帧数/(F/s)
Faster-RCNN	95.62%	36
SSD	89.76%	55
YOLOv4	92.58%	53
改进的 YOLOv4	96.43%	50



(a) YOLOv4 算法识别效果图

孔小红,蒋陵,管翰林,等. 基于 ADSS 光缆弧垂的在线监测及环境隐患预警算法



(b) 改进 YOLOv4 算法识别效果图

图 6 识别结果图

表 5 人工测量值与倾角测量弧垂高度比较

监测点	人工测量结果/m			倾角法测量结果/m		
	A 相	B 相	C 相	A 相	B 相	C 相
1	18.22	15.61	15.21	18.20	15.40	15.00
2	15.61	13.30	13.25	15.40	13.15	13.00
3	14.70	12.31	12.25	14.50	12.25	12.05

3.2 倾角法测量弧垂高度实验

采用倾角法测量方式可以对多个监测点实时监测,并对不同探头下采集的数据进行同步对比,现场工作人员实测值与倾角法测量值如表 5 所示。其中,A 相、B 相和 C 相为电缆的三相线路。可以看出,与人工测量真实值对比,倾角测量值的误差较小,且根据表 1 数据计算得知误差能够控制在 1.06%~2.12%。因此,本文所提算法最大特点是精度高,尤其在线路弧垂方面具有一定优势。

4 结束语

本文针对 ADSS 光缆易受恶劣的自然环境、周围环境以及光缆本身弧度的变化导致无法正常运行的问题,提出一种基于 ADSS 光缆弧垂在线监测及环境隐患预警算法。采用了倾角法完成了弧度的实时监测,同时对 YOLOV4 算法进行改进,并与其它算法进行分析对比。实验结果表明:相比于其它算法,本文提出的算法的综合性能更好,且支持夜视的隐患检测和报警功能;此外,集成设计的可视化智能融合终端能完成光缆周围环境隐患和弧度的监测,减少了故障发生后的定位时间且降低了成本,在电力系统光缆监测方面将发挥更大的作用,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 王则民. 国内外光纤光缆现状及发展趋势 [J]. 通讯世界, 2000(12): 9-12.
- [2] 司徒泉鸿. 电力通信光缆典型故障及应对措施探讨 [J]. 科技创新与

应用, 2020(34): 123-124.

- [3] 崔秀国, 刘翔, 操时宜, 等. 光纤通信系统技术的发展、挑战与机遇[J]. 电信科学, 2016, 32(5): 34-43.
- [4] 王池. 光纤通信技术在电力通信网建设中的应用[J]. 网信军民融合, 2021(4): 42-45.
- [5] 王铁铮, 陈伟, 杨振昊. 光纤监测系统的设计 [J]. 电子设计工程, 2015, 23(23): 113-115.
- [6] PARK J, TAYLOR H F. Fiber optic intrusion sensor using coherent optical time domain reflectometer [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2003, 42(6): 3481-3482.
- [7] 官蕾, 尤庆亮, 陈亮明, 等. ADSS/OPGW 电力光缆在国家电网信息化中的应用及改进[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2014(1): 23-27.
- [8] 陈聪. ADSS 光缆应用过程中的问题探讨 [J]. 中国设备工程, 2020(3): 193-194.
- [9] FLORKOWSKA B, FLORKOWSKI M, TIMLER M. Detection of dry-band arcing processes on ADSS cable coating[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(1): 302-310.
- [10] LIU W, ANGUELOV D, ERHAN D, et al. SSD: Single shot multibox detector[C]//ECCV. Proceedings of European Conference on Computer Vision, Cham: ECCV, 2016(9905): 21-37.
- [11] 杨琳, 陈赛旋, 崔国华, 等. 基于改进 YOLOv4 算法的零件识别与定位[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2021(10): 28-32+37.
- [12] 谢书翰, 张文柱, 程鹏, 等. 嵌入通道注意力的 YOLOv4 火灾烟雾检测模型[J]. 液晶与显示, 2021, 36(10): 1445-1453.
- [13] 胡建林, 刘杰, 蒋兴良, 等. 基于弧垂测量的综合荷载下导线等值覆冰厚度监测方法[J/OL]. 高电压技术: 1-9. [2021-11-02]. <https://doi.org/10.13336/j.1003-6520.hve.20210217>.
- [14] 张今朝, 麻岑聪, 付世杰, 等. 电力输电导线应力弧垂的工程计算分析与设计[J]. 嘉兴学院学报, 2020, 32(6): 90-95.
- [15] 王爱国, 肖晓明, 张娟. ADSS 光缆在电力系统中的应用[J]. 电力系统通信, 2001(2): 14-18.