

# 基于回归模型的电力线路三维全景监测方法

陈赞,朱超杰,周亮

(国网上海市电力公司 经济技术研究院,上海 200002)

**摘要:**针对电力线路监控过程监控与真实场景有割裂感、监测数据来源单一导致三维全景电力线路监测存在清晰度低、异常报警率低等问题,设计一种基于回归模型的电力线路三维全景监测方法。通过 DM6446 双核控制芯片,在 ARM 端搭载实时操作系统,实现电力线路图像的采集、管理以及显示等功能。构建多源异构数据的协同特征回归模型,提取电力线路图像特征,结合信息共享方法,获取元信息和残差信息,通过不同的统计量完成实时处理和电力线路三维全景监测。实验结果表明:三维全景监测方法的特征提取数量达到了 532 个,可以清晰呈现电力线路三维全景,异常报警率为 97.3%。

**关键词:**回归模型;电力线路;三维全景;特征提取;图像监测;特征点提取;异常报警

**中图分类号:**TP391.41 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)06-0142-05

## Three-dimensional Panoramic Monitoring Method of Power Line Based on Regression Model

CHEN Yun, ZHU Chaojie, ZHOU Liang

(Economic Research Institute, State Grid Shanghai Electric Power Company, Shanghai 200002, China)

**Abstract:** To cope with the low definition and low abnormal alarm rate in three-dimensional panoramic power line monitoring due to the separation of power line monitoring process from real scene and unitary monitoring data source, a three-dimensional panoramic power line monitoring method based on regression model is proposed. With the DM6446 dual core control chip, the ARM terminal is equipped with a real-time operating system to realize the collection, management, display and other related functions of power line images. The collaborative feature regression model of multi-source heterogeneous data is constructed to extract the power line features. Combined with the information sharing method, the meta-information and residual information is obtained. The real-time 3D panoramic monitoring is completed through different statistics to realize the 3D panoramic monitoring of power lines. The experimental results show that the number of feature extraction of the three-dimensional panoramic monitoring method reaches 532, which clearly presents the three-dimensional panorama of power lines with the abnormal alarm rate being 97.3%.

**Keywords:** regression model; power lines; three-dimensional panorama; feature extraction; image monitoring; feature point extraction; abnormal alarm

## 0 引言

随着电力系统信息化的飞速发展以及电网结构的复杂化<sup>[1]</sup>,用信息化方式治理电力线路逐渐成为电力行业发展趋势。为了提升电力行业的信息化管理水平,电力行业逐渐采用智能信息技术,提高电力线路的监测能力,从而提升电力管理效果。但是现有的电力线路信息监测方法效果差,影响工作效率。

为了有效解决上述问题,凌晓波等<sup>[2]</sup>研究了基于激光三维扫描设备全景电力监控数据应用模型,获取电力线路点云数据,构建独立坐标系,完成全景扫描,以“数据—模型—应用”为设计思路,构建电力监控数据应用模型,但是电力监测方法由于异构数据特征提取效果差,导致三维全景图像清晰度低。杨剑锋等<sup>[3]</sup>研究了基于深度学习

网络的输电线路异物入侵监测和识别方法,采用条件生成对抗网络算法扩充异物入侵的输电线路图像样本,并且采用 Dense-net 网络替代 YOLOv3 网络中倒数第二层网络,建立 Dense-YOLOv3 深度学习网络模型,通过该模型实现电力线路异物入侵监测和识别,但是该监测方法的异常报警率低。

针对上述问题,为了提高电力线路监测效果,提出一种基于回归模型的电力线路三维全景监测方法。该方法引入了回归模型,以提高监测效果。

## 1 电力线路三维全景监测硬件设计

电力线路三维全景监测方法主要通过采集模块和摄像机等硬件获取监测对象的图像或者视频,通过软件实现全景监测。三维全景监测方法硬件架构如图 1 所示。

第一作者简介:陈赞(1990—),女,江苏南通人,硕士,研究方向为高压输电线路设计,sdf1354945@126.com。

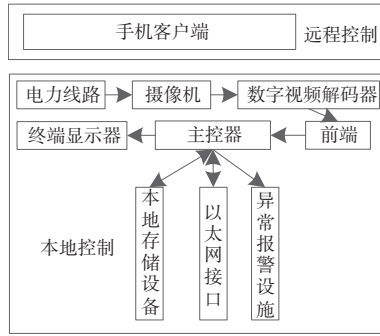


图1 电力线路三维全景监测方法硬件结构

通过图1可知,硬件主要由远程控制和本地控制组成,其中远程控制通过本地控制发送的信号实现。结合电力线路三维全景监测方法<sup>[4]</sup>的实际需求和硬件结构,设计电力线路三维全景监测方法相关硬件,硬件部分中的模块主要分为以下几种,如图2所示。

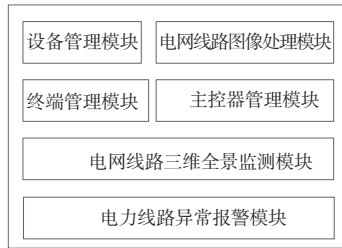


图2 电网线路三维全景系统硬件组成模块

通过各个模块之间的相互协作,实现系统的监测功能。以下对各个模块展开详细的分析和描述。

#### 1) 主控制器

主控制器是电力线路三维全景监测方法硬件的核心,主要负责处理三维全景监测视频,实现编程、数据存储等功能。主控制器采用DSP处理芯片和FPGA处理芯片相结合的形式构建,核心是DM6446。ARM子系统负责DM6446控制系统的频率设置。DSP子系统负责电力线路数据的计算和处理,并且处理复杂图像。

#### 2) 设备管理模块

为主控制器搭建多个不同的外围设备,并借助设备资源分配完成电力线路图像采集和显示等相关操作。设备管理通过操作系统的设备驱动程序完成。根据设备驱动程序,保证设备的独立性和可移植性。同时,用户主要通过标准化的功能完成对界面设备的管理。

#### 3) 电网线路图像处理模块

电网线路图像处理模块包含3个单元,分别为图像采集单元、图像算法单元和图像显示。图像采集单元由CCD模拟摄像机和数字视频解码芯片组成,将原始图像信号设置为模拟信号,采用栅格线图像格式,将图像细节信息传输到主控制器缓冲区,完成栅格线图像压缩处理;图像算法单元负责完成电路线路图像的拼接工作;图像显示单元负责采集电力线路图像,信息主要通过ARM终端采用管道的形式将图像传递至图像显示程序。

#### 4) 终端管理模块

终端管理模块主要是由服务器和手机客户端两个部

分组成,将需要保存的文件存储于文件服务器,以完成系统的终端管理工作。

#### 5) 电网线路三维全景监测模块

设计了相应的手机客户端,具有用户登录和安全认证功能,支持当前电网线路三维全景图像的查询工作并提供相关参数接口,便于三维全景监测系统相关功能的扩展。

#### 6) 电力线路异常报警模块

电力线路异常报警模块采用统一的信息描述格式汇总各类基础报警信息,按照信息处理规则过滤和分类管理报警信息,通过预先设定的传统推理算法模型计算报警结果。通过报警模块提取关键信息,并判断出异常结论及处理建议。

## 2 基于回归模型的监测方法改进

### 2.1 构建监测回归模型

随着电力行业应用信息技术的程度越深<sup>[5-6]</sup>,从电力视频数据中提取异构数据变得越困难。为了有效解决异构数据的问题,选择敏感有效的特征,可以提高电力线三维全景监测结果的准确性和有效性。以下通过局部保持投影方法需要考虑电力线路图像数据和物理变量之间的结构相似性,在改进后,可以将协同特征回归目标函数 $H$ 表示为式(1)的形式。

$$\min H = \begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (s_j^i T_j m_j^i + c^i - z_j^i) \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \psi_{p,q}(s_j^i T_j m_j^i + c^i - z_j^i)^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $s_j^i$ 代表二维的电力线路视频图像样本; $r$ 代表降维维数; $T_j$ 代表采集第 $j$ 个图像样本所需要的时间; $m_j^i$ 代表物理变量; $c^i$ 代表图像的输出特征; $z_j^i$ 代表电力数据的图像数据; $\psi_{p,q}$ 代表电力线路的特征变量,可以将其表示为式(2)的形式。

$$\psi_{p,q} = \begin{cases} e^{-\frac{\|c^i - z_j^i\|^2}{2}}, & c^i > \varepsilon' \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\sigma$ 为核参数; $e$ 为任意常数; $\varepsilon'$ 为输出特征阈值。

通过求解式(1),可以得到对应的投影矩阵,同时完成协同回归模型的特征提取。则式(1)中的目标函数可以表示为如下回归模型形式:

$$\min H = \begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [tr(s_j^i T_j m_j^i + c^i) - z_j^i] \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Psi_{p,q} [tr(s_j^i T_j m_j^i + c^i) - z_j^i]^2 \end{cases} \quad (3)$$

式中 $t$ 代表测试样本采样周期。至此完成回归模型的构建,但是此时无法实时监测电力线路,并且监测效果无法得到保障。因此,需要进一步优化监测回归模型,提高监测质量。

### 2.2 基于回归模型的监测方法优化

回归模型可以利用构建的映射矩阵快速计算网格线的图像特征,并将物理变量共享至电力线路三维全景监测过程,有效地减少了监测过程的时延问题。但是监测数据中存在高斯数据,影响监测效果。因此,通过ICA-PCA方

法有效区分电力线路数据的非高斯数据和高斯数据,保障三维全景监测结果的准确性。

首先,通过ICA-PCA处理电力线路视频帧图像特征变量,即线路数据,获得以下形式的公式:

$$\begin{cases} U = V^T X \\ X_e = X - VU \end{cases} \quad (4)$$

式中: $U$ 为独立元处理后得到的独立元; $V$ 为解混矩阵; $X$ 为电力线路图像的剩余特征; $X_e$ 为处理后的电力线路图像特征。

在上述基础上,通过信息共享方法获取非高斯的独立元信息以及高斯分布特性的主元信息和残差信息,从而通过不同的统计量完成实时三维全景监测处理。其中,不同统计量对应的表达式如式(5)所示。

$$\begin{cases} x = s' \tau(l_{m,n}) \\ y = s' \tau(b_{m,n}) \\ z = s' \tau(c_{m,n}) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $x$ 、 $y$ 、 $z$ 分别代表不同的统计量; $s'$ 代表方差矩阵; $\tau$ 代表样本向量; $l_{m,n}$ 、 $b_{m,n}$ 以及 $c_{m,n}$ 分别代表不同组成部分的信息特征矩阵。

在采集到全新的电力线路图像和物理变量样本后,经过控制回归模型,获取对应的图像特征,进而通过式(6)监测全新样本的实时运行状态。

$$S_{PE} = f_{new} \times S_{new} \times t_{new} \quad (6)$$

式中: $S_{PE}$ 代表电力线路三维全景监测结果; $f_{new}$ 代表最新的电网线路图像样本特征; $S_{new}$ 代表概率密度; $t_{new}$ 代表电网线路密度图像的主元信息。

## 3 实验

### 3.1 实验方案

为验证基于回归模型的电力线路三维全景监测方法的可行性,设计了实验验证方案。具体实验方案如下:

- 1)明确实验中具体的三维全景制作过程,主要涉及图采集、拼接、三维场景制作等步骤;
- 2)实验准备,明确研究对象,介绍实验参数,展示三维全景系统;
- 3)验证所设计的三维全景系统的组成模块是否正常运行,为后续实验提供实验基础,避免硬件环境对实验有效性的影响;
- 4)分析设计方法的性能。

### 3.2 实验三维全景制作过程

电力线路三维全景监测方法除了监测功能外,仍需根据下述制作流程,完成实验,分析监测方法性能:

- 1)图像采集,采用摄像机采集电力线路图像;
- 2)图像拼接,包含图像投影、融合等,将采集的图像通过数字视频解码器进行解码,然后根据需求拼接电力线路图像;
- 3)三维场景制作,包含场景播放器、图像切片等;
- 4)三维场景发布,主要是显示电力线路三维全景图像,提供人机交互功能,为工作人员的操作提供操作界面。

### 3.3 实验准备

实验以某城市的部分电力线路为研究对象,该段线路处于城市郊区,电力线路的全景图像如图3所示。



图3 电力线路全景图像

在实验过程中采用了1个全景相机、1个全景摄像头、1台计算机、1个处理器等设备。其中全景相机和全景摄像头均安装在研究对象场所,利用原来的全景相机支架固定实验用的相机和摄像头,并且通过以太网连接计算机,通过计算机处理和展示电力线路图,远程控制的手机客户端通过计算机发送的信号实现监测。实验中采用的具体设备和参数如表1所示。

表1 实验设备和参数

序号	名称	参数或型号	作用
1	全景相机	分辨率 $\geq 4$ K	采集电网线路图像数据
2	全景摄像头	分辨率 $\geq 4$ K	采集电网线路视频数据
3	DSP处理芯片	SN74HC164DR	处理复杂的图像
4	FPGA处理芯片	AC7200	编程、错误删除以及二次编程
5	ARM	ULINK2	负责系统控制

设计电力线路三维全景监测系统界面,使监测方法具备人机交互功能,便于工作人员操作,具体界面如图4所示。



图4 电力线路三维全景监测系统

### 3.4 三维全景监测系统组件模块检测

应用本文设计的三维全景监测系统,在完成设计安装后,检测系统的运行情况,验证各个模块是否正常运行。主要检测的功能有三维图像采集、电力线路异常报警等。检测三维监测系统在60 min内,系统各项功能均能正常使用,并且不出现卡顿、功能缺失等情况。在实际焊接过程中,主要通过试块法,将组件和信号接口等作为焊接顺



序,在完成各个模块的焊接工作后,需要测试不同模块的性能。

首先单独依次检测系统的各个模块功能,检测结果为全部正常后,将检测所用模块安装在一起,同时运行的功能和具体检测结果如表 2 所示。

表 2 三维全景监测系统组件模块检测

项目	系统功能	运行状态
单独检测	三维图像采集	正常
	图像存储	正常
	终端显示	正常
	设备管理	正常
	远程控制	正常
	异常报警	正常
同时运行检测	全部组件模块	正常

根据表 2 的检测结果显示,设计的电力线路三维全景监测系统各项功能运行正常,可以进行后续的实验分析,验证本文方法的性能。

### 3.5 性能分析

验证监测方法的性能,需要以性能指标衡量监测方法,否则无法体现监测方法的性能。因此,选择电力线路三维全景图像特征提取数量、监测效果图的清晰程度(直观效果图)和电力线路异常报警率为实验指标,分析监测方法的应用效果。应用 3 种方法监测电力线路,分别为本文方法、文献[2]方法和文献[3]方法。

#### 1) 电力线路三维全景图像特征提取数量

电力线路三维全景图像特征提取数量越多,表明监测方法监测到的电力线路越准确,三维全景图像越好,其提供的参考价值更高。因此,随机采集 100 张电力线路三维全景图像,以此为实验样本,应用 3 种监测方法提取特征,特征提取数量为当前监测样本数的平均值,实验结果如表 3 所示。

表 3 不同监测方法的特征提取数量 单位:个

样本数量	特征提取数量		
	本文方法	文献[2]方法	文献[3]方法
20	512	337	346
40	532	321	378
60	519	339	329
80	520	298	325
100	525	307	316

根据表 3 数据可知,本文方法提取电力线路三维全景特征数量均在 500 个以上,最高值达到了 532 个,文献[2]方法和文献[3]方法的特征提取数量均在 300 个左右,其中文献[3]方法的提取数量相对较多,最高值达到了 378 个,但是 3 种方法相比,文献方法的最高值都低于本文方法的最低值,两者相差 134 个。由此可知,本文方法的特征提取效果最好,其能够为电力线路提供更加准确的三维

全景图。提取特征点如图 5 所示。



图 5 特征点采集

#### 2) 监测效果图的清晰程度

通过直接观察的形式,分析应用本文检测方法后监测效果图的清晰程度,将本文方法检测的效果图和原图进行对比,应用后的监测效果如图 6 所示。



图 6 电力线路三维全景监测结果

分析图 6 的监测效果图,并且与图 3 对比可知,从监测范围角度分析,本文方法监测到了全部电力线路,而应用本文监测方法之前监测的范围较小。从监测效果图的清晰度分析,通过直接观察的方式发现,本文监测方法的三维全景监测效果图更加清晰,颜色更加鲜明,而应用本文方法之前的监测效果图相对模糊。因此,本文设计的电力线路三维全景监测方法的监测效果图呈现的效果更佳,具备了更优越的性能。这是因为本文引入了回归模型,可以有效地通过构建的映射矩阵获取网格线的图像特征,从而提高了图像的质量。

#### 3) 电力线路异常报警率

本文的电力线路三维全景监测方法主要是展示电力线路的实景情况和报警电力线路异常情况。因此,以电力线路异常报警率为实验指标,分析监测方法的报警性能,测试样本仍为 3.4 章节中的 100 个电力线路样本,该样本中存在 20 张电力线路异常的三维全景图,平均 20 张中含有 4 个异常图,实验结果如表 4 所示。

表 4 电力线路异常报警率测试结果

样本数量/个	报警率/%		
	本文方法	文献[2]方法	文献[3]方法
20	96.7	88.4	93.2
40	96.2	87.3	85.6
60	96.9	89.3	89.1
80	97.3	88.8	94.1
100	96.5	87.5	80.3

根据表 4 的数据可知,本文方法的电力线路异常报警率均在 96.0%以上,最高值达到了 97.3%;文献[2]方法的电力线路异常报警率低于 90.0%,最高值为 89.3%,最低值为 87.3%;文献[3]方法的电力线路异常报警率最高值为 94.1%,最低值为 80.3%,该监测方法的报警率最高值虽高,但是其波动较大,电力线路异常报警不够稳定。3 种方法相比可知,本文方法在监测电力线路异常时,可以有效报警,其异常报警率最高,有效识别出电力线路的异常情况,并且发出报警信号。

## 4 结语

针对传统三维全景监测方法存在的弊端,设计并提出一种基于回归模型的电力线路三维全景监测方法。该方法应用了回归模型,结合其他方法,进一步提高监测效果。经大量实验测试结果证明,所提监测方法提取电力线路特征数量最多,并且三维全景图像更加清晰,同时其电力线路异常报警率达到了 97.3%,本文方法有效提高了电力线

路三维全景监测效果。

### 参考文献:

[1] 付文启,黄永章,管飞,等. MGP 提高直流送端新能源动态无功补偿能力研究[J]. 大电机技术,2021(1):34-39.  
 [2] 凌晓波,叶康,胡友琳,等. 基于激光三维扫描设备全景的电力监控数据应用模型设计[J]. 激光杂志,2020,41(7):213-217.  
 [3] 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.  
 [4] 林志军,刘宝军,关俊峰,等. 基于影像特征分析的架空输电线路三维实景建模[J]. 电子器件,2022,45(1):172-177.  
 [5] 彭向阳,易琳,钱金菊,等. 大型无人直升机电力线路巡检系统实用化[J]. 高电压技术,2020,46(2):384-396.  
 [6] 何继勇,周海阔,朱仁勋. 高压输电线路在线监测设备无线供电电磁耦合机构优化[J]. 中国电力,2021,54(5):139-147,165.

收稿日期:2022-06-13

(上接第 133 页)

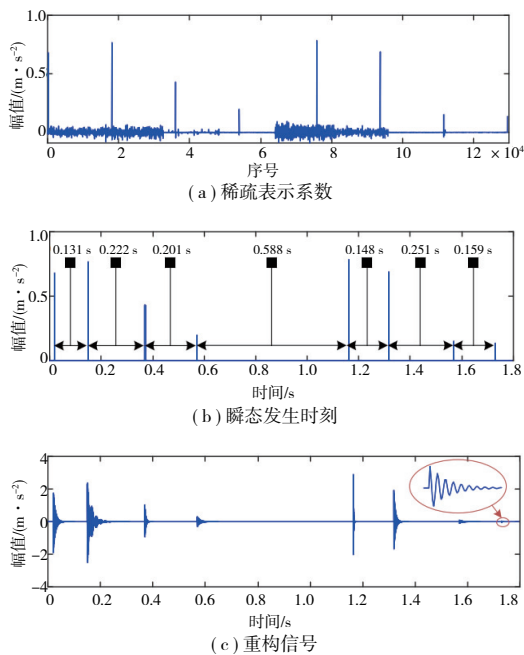


图 5 正常换刀循环振动信号的稀疏表示结果

## 4 结语

自动换刀系统是加工中心的重要组成部分,其性能直

接影响工件的加工精度以及企业的经济效益。本文提出了一种基于参数脉冲字典瞬态成分稀疏表示的自动换刀系统故障诊断方法。首先,根据换刀振动信号中的瞬态成分呈现多阶模态的特征,利用物理意义明确的多维实 Laplace 小波作为原子构造参数脉冲字典;然后,应用分裂增广拉格朗日收缩算法对稀疏表示模型进行了求解,使表示系数的求解速度提高了 95 ms。在正常换刀循环振动信号瞬态特征提取中,所提方法得到的瞬态间隔与理论值的相对误差只有 0.7%,诊断精度提高了 1.2%,有明显的优越性,取得较好的应用效果。

### 参考文献:

[1] 霍永超. 加工中心自动换刀系统典型故障稀疏诊断方法研究[D]. 长春:吉林大学,2021.  
 [2] 邓飞跃,强亚文,郝如江,等. 基于自适应 Morlet 小波参数字典设计的微弱故障检测方法研究[J]. 振动与冲击,2021,40(8):187-193,254.  
 [3] 李强,韩军,汪满新,等. 基于信号共振稀疏分解的自动换刀装置故障诊断[J]. 组合机床与自动化加工技术,2019(4):107-110.  
 [4] 杜乐. 基于状态监测数据的盘式刀库故障预测与健康管理技术研究[D]. 长春:吉林大学,2018.  
 [5] 李景乐,谢馨,王华庆. 改进 Laplace 小波字典在轴承故障诊断中的应用[J]. 轴承,2018(11):57-60.

收稿日期:2023-08-23