

基于HPLC的无人值守变电站物联网远程监控系统

豆朋, 刘铠滢, 吴添权, 郑跃斌, 李佳林

(广东电网有限责任公司潮州供电局, 广东 潮州 521000)

摘要:为解决无人值守变电站运行数据较多导致远程监控视频中信息量较大,无法有效获取无人值守变电站运行状态的问题,设计一种基于HPLC的无人值守变电站物联网远程监控系统。通过分析HPLC技术特点和无人值守变电站业务需求,建立由监测终端和各个功能模块组成的硬件部分。采用基于变步长和变阈值的分形小波图像压缩算法对无人值守变电站物联网远程监控视频压缩处理,将压缩处理后的视频直接上传至服务器,最终实现无人值守变电站物联网远程监控。实验结果表明,系统可以满足无人值守变电站物联网远程监控需求,全面提升无人值守变电站物联网远程监控视频图像的压缩比以及峰值信噪比,同时可以精准监控无人值守变电站的电压和电流,实时掌握变电站运行情况,有效提升监控视频质量。

关键词: HPLC; 无人值守变电站; 物联网; 远程监控系统

中图分类号: TP391; TP277 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)04-0075-06

The Internet of Things Remote Monitoring System for Unattended Substation Based on HPLC

DOU Peng, LIU Kai-ying, WU Tian-quan, ZHENG Yue-bin, LI Jia-lin

(Chaozhou Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Chaozhou 521000 China)

Abstract: In order to solve the problem that there is a large amount of information in remote monitoring video due to the large number of operation data of unattended substation, and the operation status of unattended substation cannot be effectively obtained, a remote monitoring system of Internet of Things for unattended substation based on HPLC is designed. By analyzing the characteristics of HPLC technology and the business requirements of unattended substation, a hardware part consisting of monitoring terminal and each functional module is established. The fractal wavelet image compression algorithm based on variable step size and variable threshold is used to compress the remote monitoring video of Internet of Things in unattended substation. The compressed video is directly uploaded to the server, and the remote monitoring of Internet of Things in unattended substation is finally realized. The experimental results show that the proposed system can meet the requirements of remote monitoring of Internet of Things in unattended substations, comprehensively improve the compression ratio and peak signal-to-noise ratio of remote monitoring video of Internet of Things in unattended substations, and accurately monitor the voltage and current of unattended substations, master the operation of substations in real time, and effectively improve the quality of monitoring video.

Keywords: HPLC; unattended substation; internet of things; remote monitoring system

0 引言

目前国内大部分变电站开始实行无人值守模式或者少数几个人值守的方式管理变电站的运行。就无人值守模式而言,为了全面准确把握操作现场的具体状态,其必然需要构建针对变电装置控制的远距离监视操控机构,让其可以对变电机构的重点性控制部位以及变电所周边区域实施严密的监控过程,这种严密的监视效果能够让远程控制机构对变电设备中各种运行装备的工作状态进行全面地掌握。Lama J^[1]等根据物联网的兴起,为可持续动力的生物监测开发一种新型设备摩擦电纳米发电机。

PARMINDER KAUR^[2]等使用物联网技术对太阳能进行跟踪、监测和预测。在参考国外研究的基础上,本文尝试将物联网技术运用到无人值守变电站远程监控中。国内相关专家针对变电站物联网远程监控方面的内容展开了大量研究^[3-4]。韩建萍^[5]更新井下电力监控分站,构建光纤环网,进而实现无人值守变电站远程智能监控。符大利^[6]主要通过数字孪生驱动技术建立远程监控系统。王小虎等^[7]建立三维变电站的安全监控平台,实现了变电站的可视化分析,智能运维和管理、精准建模和仿真,有效地保障了变电站的安全运维能力。尹根等^[8]主要采用ARM+Linux的平台架构,对基于IEC61850的变电站电池远程监控系统进行研究和设计。结合以上几种研究,提出一种基于HPLC的无人值守变电站物联网远程监控系统。

*基金项目:南方电网公司科技项目资助((GDKJXM20220750))

收稿日期:2023-11-27

经实验测试证明,采用本文设计的HPLC系统可以实现无人值守变电站物联网远程监控。

1 远程监控系统设计

1.1 基于HPLC的监控终端硬件设计

HPLC是一种高速电力线载波通信技术,由于操作简单且维护便利等优势,所以在电力系统内得到十分广泛的应用。通常情况下,HPLC通信范围在0.5~12 MHz内,在传输数据过程中安全系数较高,同时还可以有效抵抗外界干扰,能够实现芯片级互联互通。随着无人值守变电站物联网远程监控系统的不断进步和升级,对系统提出了全新的要求,引入HPLC技术可以有效提升模块升级效率,同时整个过程不需要手动操作,更不需要人员干预和值守,所以在系统硬件设计部分加入HPLC技术是十分必要的。基于HPLC的监控终端的硬件部分监控终端结构图如图1所示。

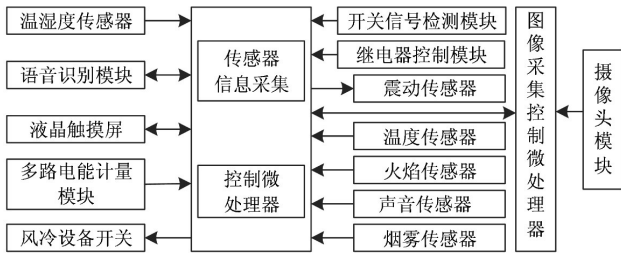


图1 硬件部分监控终端结构图

图1主要是由传感器信息采集控制处理和图像采集控制处理器组成控制单元,两者分别连接不同的外围功能模块,通过模块可以完成无人值守变电站物联网远程监控图像信息采集和上传等工作。

1.2 远程监控模块设计

(1) 震动传感模块设计

传感器作为监控系统^[9]最前端的部分,通过捕获人员或者其他信息完成目标检测。根据系统需求,设计震动传感模块,模块主要由三个部分组成,分别为设备类型、拓扑结构以及路由。在震动传感模块内主要使用星形拓扑结构,在每一个震动传感器内加入一个ZigBee终端节点,利用ZigBee协调器节点展开控制和管理等相关工作。采用震动传感模块可以完成监测信息节点采集、电压采集和温度信息采集,使系统可以实时掌握变电站相关设备的运行情况。

(2) 物联网远程监控模块设计

物联网远程监控模块是系统的核心部分^[10],整体的结构框架如图2所示。

采用PAL制式的模拟摄像机,将输出视频信号转换为模拟信号,在采集过程中主要利用iocal函数对摄像头设备展开管理操作,通过iocal函数可以有效实现输入口

和输出口设备信息的管理和控制。在完成无人值守变电站物联网远程监控图像采集后,需要对视频图像展开压缩操作,确保图像的顺利传输,通过图像压缩的方式可以有效去除视频图像内的冗余信息,得到比较高的压缩率,且图像质量也会得到有效改善;将压缩处理后的图像传输至PC客户端。

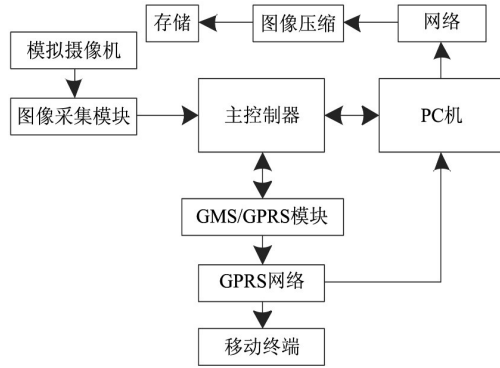


图2 物联网远程监控模块结构图

(3) 基于GPRS网络无线传输模块设计

系统硬件部分除了可以实时远程观看无人值守变电站物联网远程监控区域的情况外,还加入了手机彩信报警功能,当变电站出现异常,服务器会触发GSM手机卡向值班人员发送报警彩信,确保用户可以在第一时间通过彩信图片观察监控区域的情况,同时根据彩信提供的信息判断变电站是否稳定运行,采用HPLC通信信息可以实现告警事件主动上报,同时自动判断变电站故障类型,有效提升抢修响应效率。

(4) 系统管理模块设计

系统管理模块也是系统内一个比较重要的模块,主要目的是完成对权限的管理工作,分别包含四个子模块。在系统完成相关开发后,系统会自动设定系统管理员,通过管理员完成普通用户的增加、删除和权限设置等工作。

(5) 告警信息处理模块设计

通过图3给出告警信息处理模块框架图。

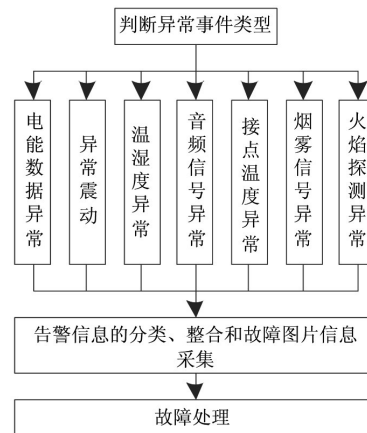


图3 告警信息处理模块框架图

通过对比各项指标的取值是否超过设定阈值,即可判断变电站是否出现异常。当变电站出现异常,需要启动预先设定的应急任务,同时将全部告警信息展开分类和整合等相关操作,最终实现变电站运行维护。

1.3 远程监控视频图像压缩

在硬件设计的基础上为了更高质量地获取无人值守变电站远程监控视频压缩图像,需要将无人值守变电站物联网远程监控视频图像 f 经过小波变换后按照频带由低到高建立一个树状结构,如图4所示。

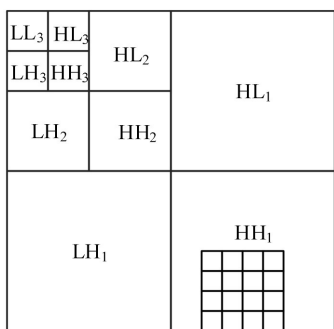


图4 小波系数的频率分布和父子关系图

嵌入零树编码通过主词逼近的量化方法(Successive-Approximation Quantization, SAQ), SAQ按照顺序排列了一系列阈值,建立如公式(1)所示的阈值矩阵 U :

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{m1} & u_{m2} & \cdots & u_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

在确定阈值 U 后,需要将小波域图像 K 划分为多个规格完全一致的子树 S ,同时计算父树 S' 和子树 S 的相似程度 $Sim_{(i,j)}$:

$$S = \frac{K}{U} \quad (2)$$

$$Sim_{(i,j)} = \frac{\eta * S_{best} - S_{\alpha}}{D^{m,n}}$$

式中, S_{best} 代表小波域图像所有子树 S 中的最优子树; S_{α} 代表父树 S' 的节点; η 代表图像扫描次数; $D^{m,n}$ 代表分形编码次数。

通过上述分析,采用基于变阈值的分形小波图像压缩算法可以对无人值守变电站物联网远程监控视频压缩处理^[11]。详细的操作步骤如下所示:

步骤一:将小波域图像压缩算法得出的 S_{best} 为基础,对原始无人值守变电站物联网远程监控视频图像 f 展开 n 次变换,划分为 $n+1$ 个子带。为进一步提升压缩效率,通过灰度均值和灰度方差对监控视频图像展开二次分类操作 $f^{2^n \times 2^n}$,如式(3)所示。

$$f^{2^n \times 2^n} = \frac{D^{m,n} \times I^{i,j}(k,l)}{LH_{(j)}} \quad (3)$$

式中, $LH_{(j)}$ 代表 f 中最高分辨率的高频子带图像; $I^{i,j}(k,l)$ 代表误差阈值。

步骤二:通过误差阈值 $I^{i,j}(k,l)$ 将 $LH_{(j)}$ 划分为规格为 $2^m \times 2^m$ 的多个完全不重叠的子块 h 。整合全部子块,构建如式(4)所示的父块集 $\tilde{H}_{(mn)}$:

$$\tilde{H}_{(mn)} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{m1} & h_{m2} & \cdots & h_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

对父块集展开平均抽样操作以及反射旋转变换,得到8个大小完全相同的父块,同时设定以下形式的误差 $\beta_p(i,j)$ 。如式(5)所示。

$$\beta_p(i,j) = \frac{\tilde{H}_{(mn)} \times f^{2^n \times 2^n}}{\tilde{R}(i,j)} \quad (5)$$

式中, $\tilde{R}(i,j)$ 代表灰度均值。

在父块集 $\tilde{H}_{(mn)}$ 内随机选择像素点,计算其和子块之间的误差,将全部误差值相加。当累计误差高于设定的误差时终止累加,并且统计全部累加次数。累加次数最多的父块即为需要搜索的父块 \tilde{H}_s 。重复上述操作过程,完成对其它子块 \tilde{h} 的编码操作。

步骤三:对高分辨率的图像子块 \tilde{h}_s 展开编码操作。

步骤四:通过步骤二和步骤三完成全部高频子带 $LH_{(j)}$ 的编码处理。

步骤五:通过迭代高频子带 $LH_{(j)}$ 获取其中最低频子带的小波系数,然后将获取的子带小波系数按照分辨率由高到低进行排序,最后展开小波反变换,进而得出无人值守变电站物联网远程监控^[12]视频图像压缩 Z ,对应的表达式如下:

$$Z = \frac{\beta_p(i,j) \times \tilde{R}(i,j) - f^{2^n \times 2^n}}{\tilde{H}_{(mn)}} \quad (6)$$

通过以上步骤得出无人值守变电站物联网远程监控视频压缩处理流程图。如图5所示。

由图5流程可知,将小波域图像 K 压缩算法得出的 S_{best} ,最后展开小波反变换,使得无人值守变电站物联网远程监控视频图像压缩。

2 实验结果与分析

2.1 实验设置

为了验证所提基于HPLC的无人值守变电站物联网远程监控系统的有效性,选取C城市的500 kV变电站作为研究对象,视频监控设备为高速球机。展开相关实验

分析,具体设备如表1所示。

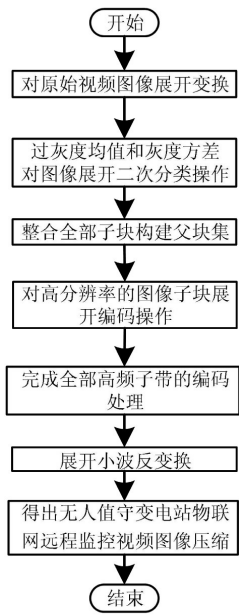


图5 无人值守变电站物联网远程监控视频压缩处理流程图

表1 变电站视频配置表

监视区域	设备型式	监控点配置
主变压器		1个监控点/台
500 kV 配电装置	AIS/HGIS	1个监控点/串
	GIS	3个监控点
220 kV 配电装置	AIS	1个监控点/2个间隔
	GIS	3个监控点
66 kV/35 kV 配电装置	-	1个监控点/1段母线
500 kV 线路并联电抗	-	1个监控点/1条出线

高速球机采集的9组500 kV 无人值守变电站监控图像如表2所示。

2.2 实验结果

在无人值守变电站物联网远程监控过程中,由于监控视频图像数据量比较大,所以对监控视频图像展开压缩处理是十分必要的。为了验证本文设计的HPLC系统的压缩效果,将文献[5]光纤环网监控方法作为对比,首先进行主观测试。

主观测试过程中,将表2中的01图像作为测试对象,利用本文设计的HPLC系统对其进行压缩处理,处理过程如图6所示。

将图6的压缩结果与文献[5]光纤环网监控方法对比,生成主观测试实验结果如图7所示。

根据图7可知,本文设计的HPLC系统对无人值守变电站监控图像压缩效果较好,保留了较多的细节信息,而光纤环网监控方法压缩后图像质量明显降低,对后续的变电站监控具有不利影响。

表2 500 kV 无人值守变电站监控图像

测试监控视频图像编号	图像	备注
01		禁区监控
02		绊线监控
03		可疑物遗弃监控
04		区域周边徘徊监控
05		变压器监控
06		火情监控
07		全局监控界面
08		绝缘子监控
09		主变压器温度监控

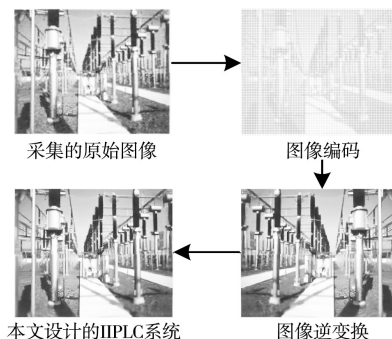


图6 本文设计的HPLC系统压缩处理过程

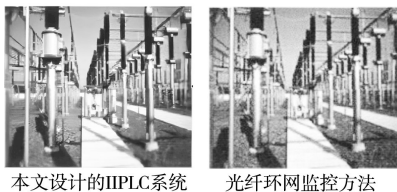
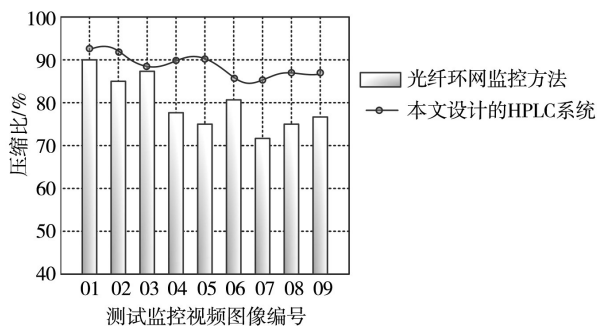
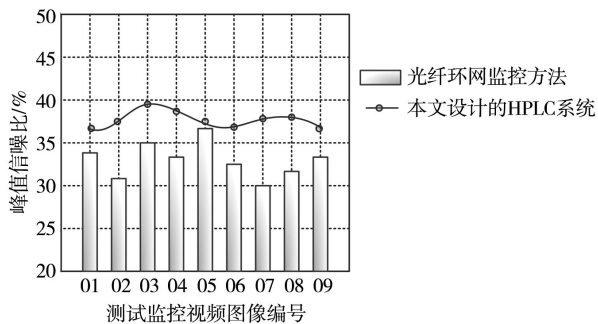


图7 监控图像主观测试结果

为了避免主观测试由于个体差异和主观因素的影响,测试结果的客观性和可信度,将选取压缩比和峰值信噪比作为客观测试指标进行对比测试。其中,压缩比=原始图像文件大小/压缩后图像文件大小,峰值信噪比通常使用均方根误差得到,其计算公式为 $PSNR=10 \times \log_{10}(255^2/MSE)$ 。其中,MSE是均方根误差。详细的实验测试结果如图8所示。



(a) 压缩比



(b) 峰值信噪比

图8 不同方法的压缩性能对比分析

通过分析图8中的实验数据可知,本文设计的HPLC系统对01~09号监控视频图像的压缩比和峰值信噪比均高于光纤环网监控方法。因此采用本文设计的HPLC系统可以全面提升无人值守变电站物联网远程监控视频图像的压缩比以及峰值信噪比,可以更好地完成无人值守变电站物联网远程监控。

为了进一步验证本文设计的HPLC系统对无人值守变电站物联网远程监控视频图像的压缩性能,利用计算机显示的起始时间和终止时间差获取两种方法的压缩时间,详细的实验测试结果如表3所示。

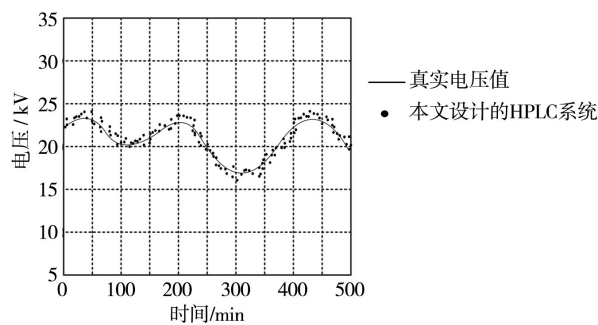
由表3中的实验数据可知,采用本文设计的HPLC系统对无人值守变电站物联网远程监控视频图像压缩处理所花费的时间相较于光纤环网监控方法更短。压缩01号

图像时,光纤环网监控方法的压缩时间为3.52 min,本文设计的HPLC系统的压缩时间为3.31 min;压缩04号图像时,光纤环网监控方法的压缩时间为2.86 min,本文设计的HPLC系统的压缩时间为2.12 min。由此可以证明所提方法可以更快完成图像压缩操作。

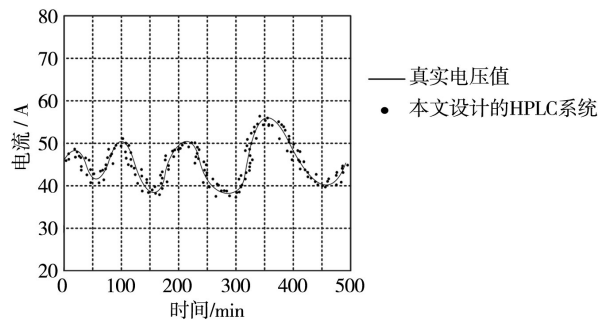
表3 不同方法的压缩时间测试结果对比

测试监控视频图像编号	光纤环网监控方法的压缩时间/min	本文设计的HPLC系统的压缩时间/min
01	3.52	3.31
02	4.01	3.76
03	2.97	2.56
04	2.86	2.12
05	3.18	2.87
06	3.35	3.02
07	3.66	3.11
08	4.10	3.86
09	4.23	3.90

在完成无人值守变电站物联网远程监控视频图像压缩处理后,需要进一步分析本文设计的HPLC系统的监控性能。因此分别在无人值守变电站中安装电压互感器和电流互感器,获取500 min的电压和电流监控数据,并生成实验图像如图9所示。



(a) 电压



(b) 电流

图9 无人值守变电站物联网远程监控性能测试结果对比

通过分析图9可知,本文设计的HPLC系统在监测变电站电压和电流时,可以精准监测出更短时间段内的电流、电压变换实时掌握变电站运行情况,进而验证了本文设计的HPLC系统具有良好的监控性能。

(下转第124页)