

嵌入式视频和图像识别技术在架空输电线路智能监控中的应用研究^①

刘 高, 曾懿辉

(广东电网公司 佛山供电局, 佛山 528000)

摘 要: 输电线路智能视频监控系统是由嵌入式视频装置、通信通道、后台存储服务器等部分组成, 嵌入式视频装置在现场拍摄视频和图像后, 现场通过色度提取、基于小波的 Canny 边缘检测、轨迹追踪、向量机分类等图像识别和模式识别方法, 自动识别出架空输电线路本体及周边环境变化产生的风险因素, 如导线弧垂变化、大型机械入侵施工、鸟巢活动、飘挂物等, 然后产生报警信息后发回服务器, 节约了通信费用. 经过 3 年的实际运行经验表明, 此系统为佛山地区输电线路防外力破坏发挥了巨大作用, 具备广阔的推广应用情景.

关键词: 输电线路; 嵌入式视频; 图像识别; 视频监控; 阈值报警

Embedded Video and Technology of Image Recognition in the Intelligent Monitoring of Overhead Transmission Lines

LIU Gao, ZENG Yi-Hui

(Foshan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Company, FoShan 528000, China)

Abstract: Transmission line intelligent video surveillance system is embedded video device, communication channel, the background storage server three components, embedded video device at the scene after the shooting video and images, directly on-site by chroma extraction, wavelet-based Canny edge detection tracking, vector machine classification, image recognition and pattern recognition methods, automatic identification of risk factors generated by overhead transmission line of the body and the surrounding environment, such as wire sag change, invasion of large-scale machinery construction, Bird's Nest, Gone with the Wind hanging like and then generate alarm information back to the server, saving communication costs. After three years of actual operating experience indicate that this system for the transmission line against external damage play a huge role, with broad application scenario.

Key words: transmission lines; embedded video; image recognition; video surveillance; threshold alarm

1 前言

输电线路智能视频监控系统建设的主要目标是能够迅速有效地发现输电线路存在的直接或间接威胁, 摄像机对线路设备及其通道附近区域进行监控, 并通过智能分析技术, 自行判断监视区域内的各种威胁状况后, 将报警信息发送给值班员, 然后通过人工核查确认并及时处理, 将事故消灭在萌芽状态, 有效地减少了导线覆冰、洪水冲刷、火灾、导线舞动、弧垂变化、超高树木、大跨越、飘挂物、违章施工、塔材被盗等因素

引起的跳闸事故, 保障输电线路安全稳定运行.

2 嵌入式视频监控系统组成

2.1 嵌入式视频监控系统结构

嵌入式视频系统分三个部分组成: 嵌入式摄像装置、通信系统、集中与分散结合的存储管理平台, 系统结构图如图 1 所示.

(1) 嵌入式装置(以下简称 RTU)包含硬件部分和软件部分: 硬件包含供电模块(风光互补发电)、智能监

^① 收稿时间:2013-04-14;收到修改稿时间:2013-05-08

控前端主机(箱体及图像识别处理器)、视频采集设备和其他传感器;软件包含包括嵌入式操作系统、视频压缩、图像识别、WEB 服务等程序。

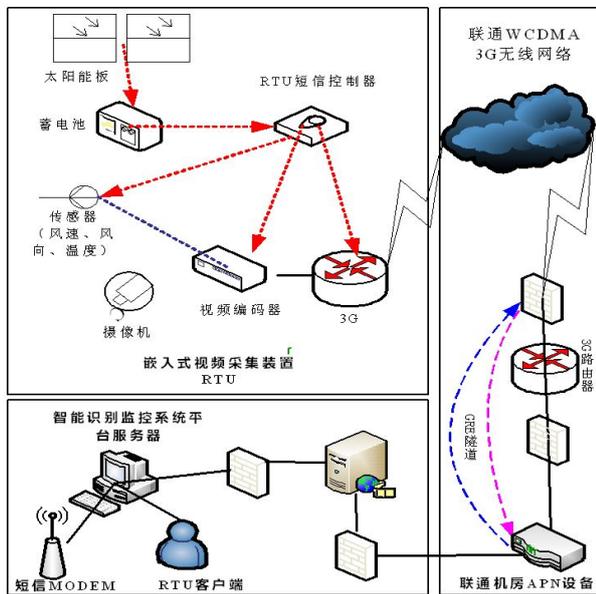


图 1 网络拓扑结构图

(2) 通信系统. 为保证视频业务传输流畅, 其无线数据传输采用 WCDMA 3G 技术, 数据传输过程中采用隧道技术接入 APN 专网, 减少路由跳数, 保证了数据传输质量和速度。

(3) 集中与分散结合的存储管理平台. 集中管理是指系统接收所有现场嵌入式装置的图像、短信及其他数据, 存入数据库, 实现了数据集中统计分析等功能; 分散管理是指对于紧急报警类信息和图片即时转发到相关线路责任人, 使其可及时掌握现场状况并采取必要的处理措施。

2.2 系统优势分析

嵌入式视频监控系统将传统的视频、音频及控制信号数字化, 以 IP 包的形式在网络上传输, 实现了视频/音频的数字化、系统的网络化、应用的多媒体化以及管理的智能化, 其具备以下技术优势:

① 布控区域广阔. 嵌入式视频 Web 服务器直接连入网络, 没有线缆长度和信号衰减的限制, 所有设备都以 IP 地址进行标识, 增加设备只是意味着 IP 地址的扩充。

② 快速组建复杂的监控网络. 由于 Web 服务器的输出已完成模拟到数字的转换并压缩, 并采用统一

的协议在网络上传输, 因此视频信号可跨网关、跨路由器的远程传输。

③ 性能稳定可靠. RTU 采用嵌入式实时多任务操作系统, 集成了视频压缩、图像识别和 Web 服务等功能, 并实现了设备的小型化, 进一步提高了系统的可靠性, 使设备更加适合于无人值守的环境。

3 智能视频监控关键算法

图像识别时眼动的研究表明^[4], 视线总是集中在图像轮廓曲度最大或轮廓方向突然改变的地方, 而且眼睛的扫描路线也总是依次从一个特征转到另一个特征上, 在图像识别过程中以其主要特征为基础的, 知觉机制排除输入的多余信息, 抽出关键的信息。

3.1 图像识别核心算法分析

① 基于小波变换去噪的 Canny 算子边缘检测算法分析

本文采用基于 Mallat 小波的高频增强法, 其在小波分解与精确重建的基础上, 对分解图像进行线性运算处理, 增强小波变换域中代表纹理的高频成分系数的幅度, 然后再经过小波反变换恢复图像, 该方法突出不同尺度的细节, 从而改善图像的视觉效果加强图像轮廓, 为后面的边缘检测提供便利. 然后, 再利用传统的 Canny 算子提取的边缘信息, 这样避免了传统 Canny 算法提取边缘过于琐碎, 不能较好地突出物体的主体轮廓特征的弊端。

以上两步将高频增强法和 Canny 算法串联在一起, 应用于对比度低的图像物体主体轮廓的探测中, 目标边缘提取准确, 且能较好地保持目标边缘的连通性^[1]。

② 色度提取

由“色度学”知识^[2], 对于某一固定的颜色, 如果只改变照明光的光强, 则该颜色的色度坐标应保持不变. 因为 H 分量不受光照强度变化的影响, 可提取出目标图像的 H 分量, 将其与原始数据相比较, 如果差异超过一定的范围, 则产生告警信号。

3.2 视频动态入侵检测算法实现

动态入侵算法主要应用于外物入侵、导线飘挂物、导线舞动等检测, 判断运行物体的轮廓及运动轨迹, 进而判断是否威胁线路运行。

① 预置位波门设定. 波门是目标处理的真正窗口, 小于视窗, 大于目标, 为了避免过多噪音干扰而设定, 本文采用混合高斯模型, 为波门的每个像素点

建立一个自适应的混合高斯模型(GMM)^[2].

② 实时画面的特征提取. 对于一个新画面对其进行预处理(中值滤波二值化)、分割、孤立噪音消除^[3], 如果其像素值与预设背景模型的前 N 个高斯分布中的某个分布匹配, 则判定为背景, 否则判定为目标特征, 然后对前景像素点进行连通域分析, 并滤掉小的连通域, 就得到了新画面的特征轮廓.

③ 目标轨迹跟踪. 对连续窗口的帧, 可以根据跟踪物体的大小形状等特征采用轮廓特征点或其他特征进行跟踪, 轮廓特征侦测可以采用上述边缘侦测法, 然后记录轮廓整体移动轨迹.

④ 输电线路入侵侦测的具体实现:

对于外物入侵侦测, 要侦测的目标一般比较大, 所以采用基于轮廓的跟踪方法.

对于异物侦测, 要进行运动目标的滞留侦测, 当被跟踪物体运动到导线区域, 并停留时, 可以判定是否有物体悬挂在导线上了.

对于导线舞动侦测, 为了减少计算复杂度, 可以在导线相对容易发生舞动的部分选取一些点进行跟踪, 计算这些点舞动幅度, 当幅值超过一定阈值时就发出报警.

3.3 预置位静态图像的安全距离侦测

对于树木侦测、导线弧垂变化侦测, 采用静态图像分析算法. 树木安全距离侦测采用基于 HOG 特征(梯度直方图)的支持 SVM 向量机分类器侦测算法^[4]. 正样本为包含树木的图片, 负样本为截取的不含树木的背景图片.

① 消除光照影响, 对图像标准化 gamma 空间和颜色空间, 有效地降低图像局部的阴影和光照变化;

② 计算图像的一阶梯度, 该求导操作不仅能够捕获轮廓, 还能进一步弱化光照的影响;

③ 将图像分为相同大小的块, 每个块又进一步分为若干网格. 每个网格内部统计赋值加权的梯度方向直方图, 以块为单位, 对于其内部的网格直方图特征进行归一化, 这样在重叠区域的网格由于属于不同块而被归一化为不同的特征值. 最后, 将所有网格的特征串联, 形成 HOG 特征向量.

④ 利用上述方法, 提取的所有正样本和负样本的 HOG 特征, 并训练线性 SVM 分类器. 对于一幅待侦测的图像, 设置一个滑动窗口, 在设定的侦测区域内滑动. 提取每个侦测窗口内图像的 HOG 特征, 用训练好的 SVM 分类器进行判定是否有超高树木存在, 流程图如图 2 所示:

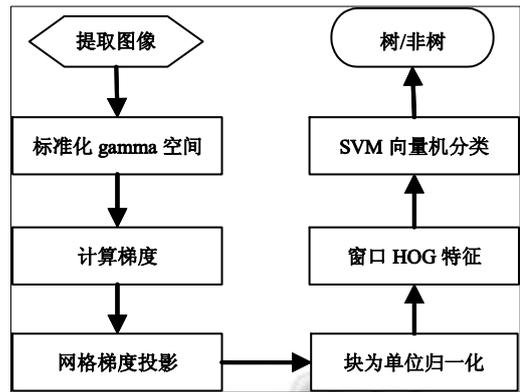


图 2 静态图像安全距离侦测流程

4 输电线路监控智能算法实例

嵌入式视频监控系统的摄像头可设定 128 个预置位, 具备最远 500m 变焦、水平 360°、垂直 150° 的扫视范围, 上述优势可以使一个 RTU 监控前后两基杆塔(包含自身, 共计 5 基杆塔), 128 个监控点, 并具备不同窗口不同算法的轮巡扫描、定时布防、撤防后自动布防等全面功能. 下面就佛山地区应用该套系统的侦测成果检验进行举例说明:

4.1 常规输电线路防外力破坏入侵侦测算法

首先按照不同电压等级的导线安全距离, 划定导线预警监控区域, 然后以摄像头焦距测算像素连通域的阈值比例因子, 当侦测到有物体进入该区域后, 对其进行跟踪, 通过边缘侦测获取轮廓, 绘制移动路线.

预警区域划定较为灵活, 可以根据安全距离绘制各种异型侦测窗口区域, 设定对应的算法, 目前可以实现特定区域人员进入(非工作人员爬塔)、大型机械违章施工、树木超高, 飘挂物、玻璃绝缘子自爆、鸟窝等预警侦测.



图 3 人员入侵侦测



图 4 大型车辆入侵侦测



图 5 飘挂物侦测



图 6 超高侦测



图 7 轨迹记录侦测



图 8 导线舞动侦测

4.2 导线弧垂变化侦测

导线弧垂的计算是通过导线悬链线方程而来, 摄像机安装在顺线路方向(而非垂直于线路走向)图像, 得到的图片需要经过角度投影变换, 再利用边缘侦测后才能得出弧垂形状. 笔者现场勘测发现: 由于现场耐张塔和直线决定线路走向不同、摄像机安装位置的不同都会导致拍摄窗口取得导线的形状相差悬殊, 测量误差太大, 难以通过导线方程计算结果, 去拟合相位编组法和 HOUGH 变化法后边缘检测出的导线形状^[5], 从而自动判断出某些边缘检测出的直线为导线.

在现场通过合理调整摄像机的角度, 尽可能使导线的背景为天空, 划定检测窗口为导线上下部分的区域, 对其灰度化、直方图修正, 然后进行上述 Canny 边缘检测, 接着进行连通域分析, 提取出导线, 标记弧垂最低点, 检测其变化情况(弧垂降低或升高的实际数据, 需要现场测距仪精确测量), 图像处理过程如图 9 所示:

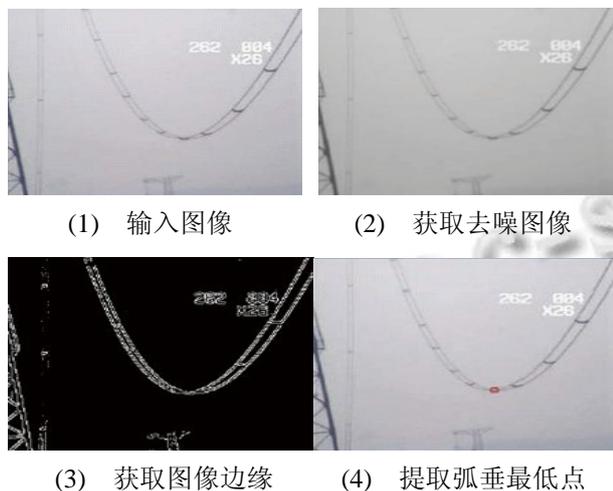


图 9 弧垂变化侦测过程

4.3 其他智能侦测分析

对于国内学者举出覆冰侦测技术^[5], 是对图像二值化后, 利用直方图均衡化侦测, 虽然能发现覆冰, 但是由于边缘侦测算法对边缘的削减以及摄像图焦距产生的误差, 导致覆冰厚度预测误差太大. 同样, 铁

塔倾斜侦测也可通过图像识别技术实现, 但在杆塔倾斜轻微变化时, 很难侦测, 不利于发现杆塔倾斜的规律, 还不如采用重力感应器测量准确方便.

5 结论及展望

输电线路智能视频监控将图像智能分析技术引入到高压输电线路状态巡视领域, 实现了将图像处理算法从 PC 端前移到 RTU 上, 减少传输流量, 利用 3G 网络实现了无延时的视频侦测、传输、浏览等功能, 有力推动高压输电线路巡检动态监测技术的发展, 使运行人员能够随时根据监测的实际情况确定输电线路的安全水平和巡检策略, 减少输电线路安全风险, 减轻了巡检人员的劳动强度, 特别是在在输电线路防外力破坏方向, 具备良好的推广应用前景. 同时, 经过三年的运行分析, 该系统也存在以下局限性:

(1) 图像识别技术由于受现有摄像技术和边缘侦测算法的限制, 不能应用于高精度参数测量, 如杆塔倾斜、导线覆冰厚度、弧垂变化定量测量等, 仅限于宏观物体入侵, 以及设备状态变化预警.

(2) 误报较为严重. 沿海地区雨季较长, 当雨滴停留在摄像头保护玻璃上时, 摄像头会误把雨滴认为是大型移动入侵而误报. 另一方面, 由于佛山地区灰尘较大导致摄像头积灰严重, 如果在没有下雨的情况下, 摄像头雨刮难以清除灰尘, 会引起误报.

(3) 摄像机在夜晚长距离拍摄夜视能力不足, 至于是否选用军用级夜视摄像头, 或红外、雷达探测等其他侦测技术来弥补摄像机的不足, 也需要进步一步实践探索. 同时, 复杂背景也是当前阻碍视频监控广泛应用到输电线路监控的另一个难点, 特别是对于距离较远的导线, 在复杂背景下也很难被侦测出异常.

参考文献

- 1 张宇伟, 王耀明. 基于小波变换的 canny 算子边缘侦测算法. 上海师范大学学报, 2006, 35(3): 35-38.
- 2 Rafael C, Richard G, Woods E. 阮秋琦, 阮宇智等译. 数字图像处理. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- 3 肖海荣, 周凤余, 宋洪军, 刘文江. 110kV 架空输电线路巡检机器人视频图像传输. 计算机工程与应用, 2006, 10(3): 184-187.
- 4 刘一山. 室内视频监控中行人目标检测与跟踪方法. 福建电脑, 2008, 7: 171-173.
- 5 樊菊杰. 输电线路图像中导线的识别方法研究. 大连海事大学, 2011(7): 41-47.