

基于视频处理的无人值守变电站在线检测

汪勤¹, 张洪斌², 王长江¹

(1. 四川电力送变电建设公司, 成都 610051; 2. 四川大学计算机学院, 成都 610065)

摘要:介绍了基于视频图像处理的无人值守变电站在线检测技术原理。针对目前无人值守变电站监控不能进行及时检测、易误报、缺乏智能化处理等不足,提出了一套基于视频图像处理在线检测的智能算法。采用图像处理技术及时检测出无人值守变电站内异常情况,并报警和视频保存,方便查看,节省人工,为调度指挥抉择提供准确及时有效的信息,使电网更坚强和智能。与传统的检测系统相比,更直观、方便、可靠和实用。

关键词:电力系统;无人值守;变电站;视频图像处理;在线检测

中图分类号:TM76;TP317.4

文献标志码:A

引言

随着电力工业的不断发展,无人值守变电站将会成为变电站运行的重要趋势。

目前,变压器油位、刀闸和开关位置的判断和状态主要是通过辅助接点接入直流电源回路来判断,但由于腐蚀、磨损、老化等原因,辅助接点切换不到位时有发生,导致判断错误,为调度指挥和运行提供错误信息,此时需人工现场实地观测^[1]。运动目标物和烟火的发生也只能依靠人工现场实际查看来判断。一方面耗费大量人力、物力和时间,另一方面劳动强度大,人为检测不够全面。为了变电站安全可靠稳定运行,提高效率,需要安全、准确、快速、便捷地对变电站进行视频监控智能处理。

本文采用数字图像处理和计算机视觉技术,结合实际情况,对变电站内的运动目标检测跟踪、火灾检测、变压器油位检测、断路器开关和隔离刀闸的位置变化等技术进行研究,可以实时获取变电站内上述信息,对变电站情况进行评估、预测和报警,使电网更为坚强和智能。

1 视频处理结构和流程

通过工业摄像机获得实时视频图像信息,运用数字图像处理和计算机视觉技术对变电站实时监控图像进行实时分析,从而快速地对变电站内运动目标物、火灾、变压器油位、断路器开关及隔离刀闸的位置等信息进行自动检测,并自动统计及记录相关数据信息。这些重要的信息综合反映了变电站实时运行状态,可根据信息进行估计和预测,实现无人值守变电站内各种机械及电气事故的智能报警,从而快速有效地进行处理。

整个检测设备由工业监控摄像机、云台控制器、现场计算机、电力专用网络接口、视频服务器和视频工作计算机等组成,设备组成结构图如图 1 所示。

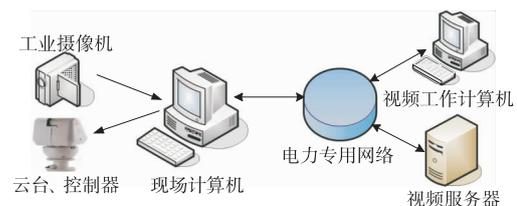


图 1 设备组成结构图

收稿日期:2013-03-29

基金项目:四川省重点技术创新项目计划项目(07XM020);科技部科技型中小企业技术创新基金资助项目(09C26215102248);四川大学联合科研项目(10H1355、08KJT-20)

作者简介:汪勤(1983-),男,四川广安人,工程师,硕士,主要从事电气自动化及智能电网方面的研究,(E-mail)wangqinmyself@163.com

视频监测采用自动检测技术,其工作原理主要利用网络将控制指令发送到云台控制器以便控制工业摄像机的角度,同时也利用网络将采集到的图像传送到监控中心的视频工作计算机的处理单元,处理单元将获得的图像进行初始化,完成初始化后将提取前景和目标物,然后将目标物进行检测分析,提取基本参数和实时参数,同时对目标物进行跟踪和智能算法,检测出各种异常情况,同时报警、记录和视频保存,其流程如图 2 所示。

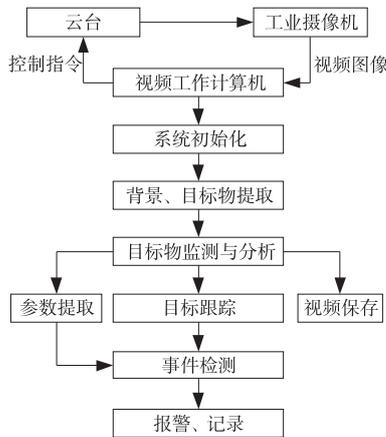


图 2 自动检测流程图

2 事件检测关键技术的实现

本文重点对基于视频图像处理的变电站内运动物、火灾、变压器油位、断路器开关和隔离刀闸位置变化的检测报警等功能进行实现。

2.1 系统初始化

系统初始化是视频检测技术的基础,在进行核心处理工作前需要将图像进行预处理,包括区域检测线划定、图像平滑滤波和增强对比度等。

设定的检测区包括非法入侵检测区、烟火检测区、油位检测区、开关及刀闸位置检测区等,参数设定如图 3 所示。设定工作区域是为了减少不必要的处理区域,提高计算处理速度,同时屏蔽环境变化导致的误差,提高检测精度。

图像平滑滤波处理将噪声过滤,提高信噪比。在摄像机采集图像和数据传输等过程中会产生各种干扰噪声,这些噪声具有随机性和独立性,影响图像清晰度。平滑滤波的方法有很多,邻域平均算法简单,运算快,但会使轮廓变得模糊,中值滤波法算法简单方便,但对点和线细节比较多的图像不适用。考虑到图像中目标物和背景一般都具有不同均值和方差,为使得边缘信息得以保留,本文研究采用自适应的选择式掩模平滑滤波。



图 3 检测参数设定界面图

选择式掩模平滑滤波选取 5×5 窗口,在窗口内以中心像素 $f(i,j)$ 为基准点制作 1 个正方形、4 个五边形和 4 个六边形的屏蔽窗口,如图 4 所示。图 4 中五角星所组成的图案为所制作的屏蔽窗口,圆点实心为原始图像像素。

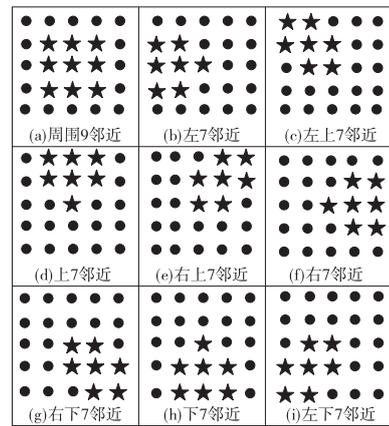


图 4 选择式掩模平滑法九种屏蔽窗口模板

根据九种屏蔽窗口模板分别计算各窗口内的平均值及方差,然后采用方差最小的屏蔽窗口进行平均化,由于含有尖锐边沿的区域,方差必定较平缓区域为大,这样在完成滤波的同时,也不破坏区域边界的细节,可较好的得到图像边缘细节^[2]。

$$a_n = \frac{\sum_{m=1}^{m=N} f(i,j)}{N} \quad (1)$$

$$k_n = \frac{\sum_{m=1}^{m=N} [f^2(i,j) - a_n^2]}{N} \quad (2)$$

式(1)与式(2)中, N 为各掩模对应的像素个数, a_n 和 k_n 分别为第 n 种邻近区域的均值和方差。在计算过程结束后,对 k_n 排序,最小方差所对应的掩模的灰度级均值 a_n 作为 $f(i,j)$ 的平滑输出,滤波效果如图 5 所示。

2.2 背景及运动目标物的提取

为了更好的检测变电站内各种异常,必须准确地从视频图像中获取背景,然后将前景目标物从图像中提取

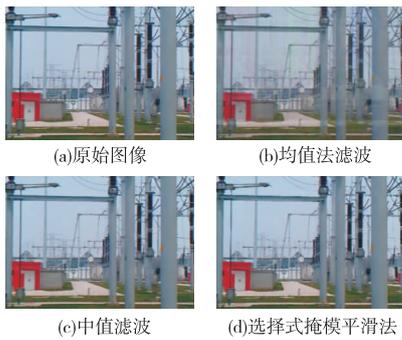


图5 滤波效果图

出来,目前背景提取的方法很多,研究考虑变电站场地实际的天气、光线等环境情况,本文采用动态更新背景算法^[3],以适应环境的变化,才能保证检测的精度。

设输入的图像为 $I_{i,j}^n$, 背景图像为 $B_{i,j}^n$, 对输入图像的每个像素, 计算它与背景图像像素的差。

$$D_{\text{差},i,j}^n = |I_{i,j}^n - B_{i,j}^n| \quad (3)$$

$$D_{\text{二值},i,j}^n = \begin{cases} 1; D_{\text{差},i,j}^n \geq T \\ 0; D_{\text{差},i,j}^n < T \end{cases} \quad (4)$$

式(3)与式(4)中, $D_{\text{差},i,j}^n$ 为背景帧差图, T 为阈值, $D_{\text{二值},i,j}^n$ 为背景帧差图的二值化值, $D_{\text{二值},i,j}^n$ 为 1 时表明该像素属于前景运动物体, 否则为背景。只有当 $D_{\text{差},i,j}^n = 0$ 时, 进行背景更新, 否则对应有运动物体, 应该保持背景不变。背景更新采用式(5)进行处理。

$$B_{i,j}^{n+1} = \begin{cases} KB_{i,j}^n + (1+k)D_{\text{差},i,j}^n, & D_{\text{差},i,j}^n = 0 \\ B_{i,j}^n, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

背景帧差图二值化处理过程中, 阈值的选择是非常关键的。阈值的自动获取一般有最大类间方差法、迭代式阈值法和双阈值法等。最大类间方差法的基本思想是确定一个最佳阈值, 使图像进行二值化处理以后, 目标与背景两个像素类间的方差取最大, 从而达到图像最佳被分割的目的^[4]; 迭代式阈值法首先选择一个近似阈值作为估计值的初始值, 利用此阈值生成新的子图像, 根据新生成的子图像来选取新的阈值, 如此连续不断地改进阈值, 此方法的阈值改进策略是关键^[5]; 双阈值算法体现了灰度相似性和空间接近性, 但算法较为复杂, 在一些场合下不适合使用^[6]。在研究中, 考虑到变电站内实际情况, 采用分块处理, 将一帧图像分割成数个小块, 然后求出每一个小块的自适应阈值并进行二值化处理, 最后将所有小块合并成整的图像, 处理效果如图6所示。

二值化处理后, 图像中还会存在噪声, 采用数学形态学滤波方法来处理, 具有快速性和并行性。数学形态

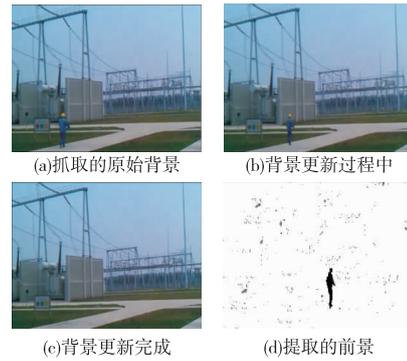


图6 初始化过程和提取的前景图

学滤波主要有腐蚀、膨胀、开运算和闭运算等, 可有效去除孤立点和毛刺、填补内部空洞、轮廓及边缘维护, 使得图像更清晰。

形态滤波完成后, 由于有目标物阴影的存在, 采用 HSV 彩色模型, 可较好地消除各种阴影, 保证了准确性^[7]。

2.3 运动目标物的检测跟踪

传统的目标跟踪方法有多种, 主要有: 利用根据目标当前特征, 对下一个状态进行估测的方法^[8-10]; 利用目标特征对相邻帧中目标进行匹配的方法^[11-12]; 利用光流法来实现目标跟踪^[13]; 利用目标中心位置与背景图像中心位置之间的坐标差计算旋转距离来跟踪目标^[14-15]。其中光流法复杂、计算量大, 同时要求图像的预处理要好, 不适用于变电站场地监控; 中心位置坐标差法方法简单, 但云台转动会导致背景发生变化, 目标移动后, 云台将无法准确有效的旋转。

本文研究采用通过分析前面所得到的运动目标, 提取建立目标区域的面积、周长、目标质心坐标、均值、均方差、二阶中心距等目标信息。利用各种目标信息对前后帧的各个目标进行特征匹配处理, 若满足合适的目标信息, 则表示找到匹配目标, 否则搜索前时刻的其它目标, 如果找不到, 则作为新目标单独处理。如果有多个匹配目标, 取质心距离最近的目标作为匹配目标。所有目标进行匹配处理后, 用当前帧图像的目标信息建立前一帧图像的目标信息, 然后利用下一帧图像的目标信息建立新的目标信息, 进行新的匹配处理, 从而可较好地跟踪运动目标, 实际跟踪效果如图7所示。

2.4 火灾特征检测

烟雾和火焰具有不规则性、扩散性、强度变化率明显等特性。对视频图像进行前期的预处理, 可得到运动物体的二值图像, 然后根据二值图像的特征, 结合烟雾和火焰的特性可检测判断烟雾及火焰的发生。

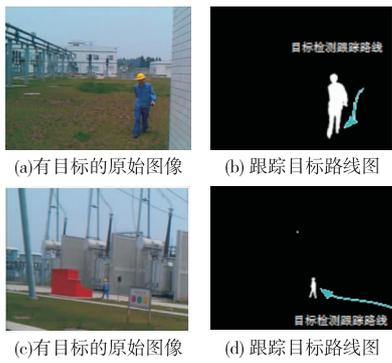


图 7 变电站场地上运动目标检测跟踪

火焰及烟雾在空气中具有不规则的特点,这种不规则性中随着空气流动而时刻变化,要对具体的烟雾形状进行测量相对困难,研究采用圆形度来表征物体的形状复杂度^[16]。圆形度采用式(6)进行计算:

$$C = \frac{L^2}{4\pi S} \quad (6)$$

(6)式中, L 表示物体图像的周长, S 表示物体图像的面积,周长和面积用像素的数量来表示。物体的形状越复杂,其圆形度越大。

烟雾在空气中一般是连续不断地扩散,在连续图像内提取出来的可能烟雾区域面积是不断增大的,并可计算出面积增大率,如果连续的面积增大率大于一个定值,可作为烟雾存在的判据,其表达式如式(7)所示。

$$G_i = \frac{S_i(A_i) - S_{i0}(A_i)}{t - t_0} \quad (7)$$

其中, $S_i(A_i)$ 和 $S_{i0}(A_i)$ 分别为 t 和 t_0 时刻的烟雾区域面积, G_i 为面积增长率。

如果发生火焰,其在较短时间范围连续图像帧中有明显的强度差异,这称为火焰的变化率,是一种识别火焰的重要手段。火焰变化率如式(8)和式(9)所示。当火焰变化率很大时,可认为是火焰。

$$I(P_i) = \frac{R + G + B}{3} \quad (8)$$

$$D_{change}(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^n |I(P_i) - I(P_{i-1})|}{n - 1} \quad (9)$$

式(8)与式(9)中, $I(P_i)$ 表示连续图像中第 i 帧图像的像素颜色的强度。 R 、 G 、 B 分别表示图像的红、绿、蓝三种颜色空间值。由此可见,基于火灾发生时的特征,可较好的实时检测出火灾。烟火检测效果如图 8 所示。

2.5 刀闸、开关位置的识别

在运动物体检测与跟踪的基础上,并运用相关算法,可检测到刀闸的位置情况。

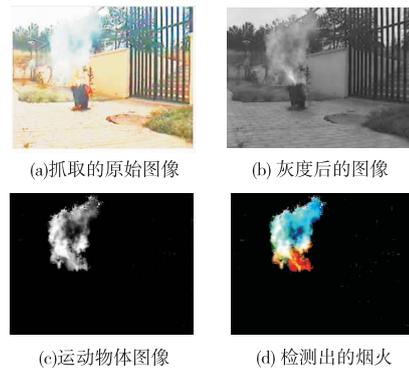


图 8 变电站场地上的烟火检测

断路器开关设备均联动一个分、合指示牌,通过对分、合指示牌图像字符识别可知其位置。基于视频图像的断路器位置识别主要涉及位置指示牌定位和模板匹配。断路器开关机构的颜色为浅驼色,指示牌的颜色一般只有红色和绿色为底色,形状为圆形,所以在图像中利用颜色和形状可以很好地将开关位置指示牌定位。

开关位置指示牌定位好后,对指示牌图像进行灰度转换、二值化、平滑处理、字符提取、字符模板匹配,从而识别出开关位置。在变电站自动化系统中断路器开关位置状态只有分、合两种状态,所以模板匹配字符集中只有“分”和“合”两个字符,从而使得这种方法简单、高效、准确,如图 9 所示。



图 9 位置原图及识别处理结果

2.6 变压器油位检测

变压器油位的检测主要包括油枕侧面圆形识别、油

液面管识别和油液面位置检测,其方法主要采用改进的 Hough 变换。在检测图像中任意取一点作为油枕侧面圆形的圆心,按照一定的半径和间隔角度进行扫描,统计扫描圆与检测圆相交点的个数,记录交点最多的圆所对应的圆心位置和半径,然后再以另一点为圆心,以不断变化的长度为半径和一定的角度扫描,记录该圆与被检测圆相交的个数,比较所有圆与要检测圆交点个数的大小,交点最多的那个圆就是检测到的油枕侧面圆^[17]。

油液面管一般在经过圆心垂直的直径上,根据此特征采用 Hough 变换检测直线的基本原理可有效检测出油液面管。在油液面管上根据边缘检测或者液柱颜色可对变压器油液面位置进行识别,检测效果如图 10 所示。

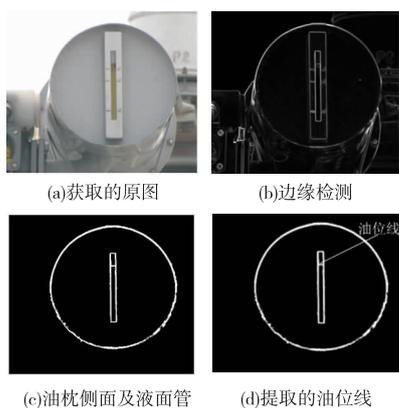


图 10 变压器油位检测过程及结果

3 实验处理与分析

在实际应用中,分别对雅安天全 220 kV 变电站和资阳 500 kV 变电站进行了连续若干小时的监控视频图像进行测试,对摄像机输出的实时 PAL 制视频用天敏 SDK2500 视频采集卡以每秒 25 帧的速度进行采集,采用 Visual C++ 6.0 编程实现了系统的软件设计。实验环境:PC 机,Intel(R) Core i3,2 GB 内存。

对监视的目标设定好阈值,软件就对监控视频图像进行智能处理,一旦有运动目标物、烟雾、火焰、开关位置和断路器开关位置变动、油位低于设定阈值,都会发出报警,并保存事件视频图像,同时对运动目标物进行跟踪,便于及时查看和处理。

通过前面检测情况和实际的情况对比,可以看出本文的方法对无人值守变电站里的运动目标物检测跟踪、烟雾及火焰检测、变压器油位低于阈值、断路器开关和隔离刀闸的变化的检测精度很高,验证了研究的实用价值。

4 结束语

基于视频图像处理的无人值守变电站在线检测识别与报警是坚强电网和智能电网的重要组成部分和关键技术。本研究结合变电站实际运行情况,利用变电站内的监控系统提供的图像信息,采用计算机图像识别与处理技术,研究无人值守变电站在线检测技术,为变电站内的异常和突发事件的快速抉择提供辅助手段。快速方便地实现了无人值守变电站内的异常事件的检测、报警和记录,可快速为调度提供指挥抉择依据,具有简单直观、费用低廉等优点。

参考文献:

- [1] 孙凤杰,崔维新,张晋保,等.远程数字视频监控与图像识别技术在电力系统中的应用[J].电网技术,2005,29(5):81-84.
- [2] 杨淑莹.VC++ 图像处理程序设计[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [3] 张丽.车辆视频检测与跟踪系统的算法研究[D].杭州:浙江大学,2003.
- [4] Otsu N. A threshold selection method from gray level histogram[J]. IEEE Trans System Man Cabernet,1979, SMC-8(1):62-66.
- [5] 王耀明,陈以.图像阈值分割的统计迭代算法[J].桂林电子工业学院学报,2000,20(2):6-8.
- [6] 祝轩,耿国华,周明全,等.双阈值法在图像边缘检测中的应用[J].微机发展,2005,15(9):131-132.
- [7] Cucchi R, Grana C, Piffcard I M, et al. Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color Information[C]// Varaiya P, Benouar H. Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Oakland, California, August 25-29, 2001:334-339.
- [8] 秦卫华,胡飞,蔡小斌.基于递推加权最小二乘法的多目标跟踪算法[J].计算机测量与控制,2005,13(8):840-842.
- [9] Kreucher C, Kastella K, Hero A O. Multi-target tracking using the joint multi-target probability density[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2005,41(4):1396-1414.
- [10] 江宝安,卢焕章.粒子滤波器及其在目标跟踪中的应用[J].雷达科学与技术,2003,1(3):170-174.
- [11] Xie Dan, Hu Weiming, Tan Tieniu, et al. A multi-object tracking system for surveillance video analysis [C]//

- Proceedings of IEEE International Conference on Pattern Recognition, Cambridge, United Kingdom, August 23-26,2004:767-770.
- [12] 刘 勃.交通流量的视频检测方法研究[D].合肥:中国科学技术大学,2005.
- [13] 周 维,刘振安,鲍远律,等.一种改进的光流法及其在云爆弹研究中的应用[J].仪器仪表学报,2005,26(8):598-599.
- [14] 王利敏,关延伟,刘新宇.基于图像处理的无人值守变电站目标自动跟踪系统[J].华北水利水电学院学报,2010,31(1):67-69.
- [15] 曾 燕,成新文.运动序列图像中目标点的自动定位与跟踪研究[J].四川理工学院学报:自然科学版,2012,25(6): 27-29.
- [16] Han Ti,Guan Yudong,Xu Xiaoyu,et al.Design of forest fire prevention system based on images recognition algorithm[J].Review,2008,26(5):79-81.
- [17] 邱文华,吴建华,王 平.一种快速的圆检测方法[J].计算机技术与发展,2007,17(1):117-118.

On-line Monitoring of Unmanned Substation Based on Video Image Processing

WANG Qin¹, ZHANG Hong-bin², WANG Chang-jiang¹

(1. Sichuan Electric Power Transmission & Transformation Construction Company, Chengdu 610051, China;
2. College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The principle of on-line monitoring technology of unmanned substation based on video image processing was introduced. Concerning that the monitoring of unmanned substation can not be detected effectively, and is lack of intelligence and preciseness, a set of intelligent algorithm based on video image processing on-line monitoring was presented. Using digital image processing, abnormalities was timely detected within unmanned substation, alarmed and video saved. Power grid is stronger and more intelligent because easy viewing and saving labor provide accurate and effective information for dispatchers to make scheduling and choice. In comparison with the traditional substation detection method, the method is more intuitive, convenient, reliable and practical.

Key words: power system; unmanned substation; video image processing; on-line monitoring