电力仪表图像嵌入式识别技术应用研究

变电站有很多电力仪表用于显示电力设备的运行状态及相关运行参数，帮助运行管理人员了解电气设备性能及变电站的整体运营情况。虽然多数电力仪表可将仪表数据信息传输到监控中心，但为进一步提高电力仪表工作的可靠性及安全性，仍应注重对电力仪表的人工巡检。受电力仪表安装位置及角度因素影响，部分电力仪表的巡检需借助相关技术对获得的电力仪表图像进行处理，以获得清晰的电力仪表指示数据。为电力仪表巡检工作的开展提供便利，降低了电力仪表读数误差。对电力仪表图像嵌入式识别技术进行探讨，为其在变电站中的应用提供参考，降低电力仪表在人工巡检方面的投入。

冯洪润　常　浩／国网河北省电力公司检修分公司

冯洪润／高级工程师

关键词／Keywords
电力仪表·
图像嵌入·
识别技术·

0　引言

电力仪表是变电站中应用频率较高的设备之一，用于指示电气设备运行时的各种参数，对不同位置处仪表数据的准确读取有助于掌握电气设备的工作状态，以及时发现电气设备运行中出现的不良问题[1]。随着科技的不断发展，智能化电力仪表在变电站中的应用极大地提高了变电站工作效率及运营水平，尤其降低了仪表读数获取的复杂程度。为提高电力仪表的读数准确性，需运用专门算法对采集的仪表图像进行处理，提高仪表读数图像的清晰度，最大限度地降低读数误差。图像嵌入式识别技术因具有效率高、功耗低和成本低等优点，使其在变电站中的应用研究引起了人们的高度重视。

1　电力仪表图像预处理

1.1　滤波器分类

受电力设备及环境因素影响，采集的电力仪表图像信息会存在不同程度的畸变或噪声，给仪表数据的读取带来干扰。因此，需使用滤波器对采集的图像进行处理。目前滤波器有空间滤波器和频域滤波器之分。其中空间滤波器中高斯低通滤波器、加权矩阵滤波器和均值滤波器应用较广泛，高斯低通滤波器属于加权均值滤波器的特例，在高斯钟形函数周围等间隔取样得出滤波系数。加权矩阵滤波器和均值滤波器相比其区分了模板覆盖下的像素灰度值，和模板中心的距离越短，像素被重视的程度越高，权重也就越大。均值滤波器将模板覆盖下像素灰度值的简单平均值加以输出。频域滤波器包括高斯带阻滤波器、高斯高通滤波器、高斯低通滤波器等。频域滤波器的机理为

$$\begin{cases} f(x,y)w(x,y) \Leftrightarrow F(u,v)W(u,v) \\ f(x,y)w(x,y) \Leftrightarrow F(u,v)W(u,v) \end{cases} \quad (1)$$

低频信息主要集中在距离中心较近位置，例如灰度变换比较慢的背景。高频信息主要集中在与中心相距较远的位置，例如图像的细节、边缘。

1.2　图像预处理算法

受各种复杂因素影响，电力仪表盘会因积累大量污垢，给图像预处理工作带来较大干扰。为解决这一问题提出了诸多图像预处理算法，如周期噪声图像滤波算法、椒盐噪声图像滤波算法和高斯噪声滤波算法。不同的算法有着各自优点，在实际应用中应综合具体情况选择对应算法[2-5]。

（1）周期噪声图像滤波算法

对周期噪声图像滤波算法而言，使

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

用带阻滤波器对带有噪声的图像进行处理，即将角频率为20 rad/s的周期噪声添加到原图像上，而后运用阻带带宽为5 bit/s，阻带中心至原点一定距离的带阻滤波器进行处理，具体操作依据式（2），即

$$\mathrm{Noise}(x,y)=I(x,y)+20\sin(20x)+20\sin(20y) \quad (2)$$

式中，$I(x,y)$为原图像、$\mathrm{Noise}(x,y)$为噪声图像。

（2）椒盐噪声图像滤波算法

变电站中受线路设备放电现象影响会导致采集的图像中含有椒盐噪声。分别运用中值滤波器、频域高斯低通滤波器对含有椒盐噪声的图像进行处理，如图1、图2所示。

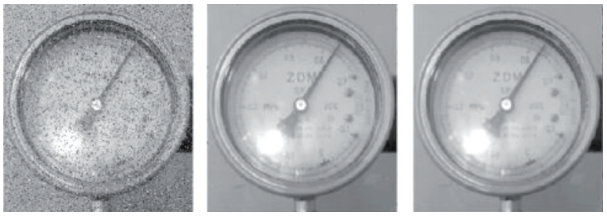


图1 中值滤波器处理效果

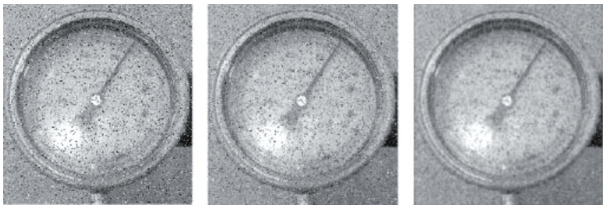


图2 高斯低通滤波器处理效果

（3）高斯噪声图像滤波算法

运用高斯噪声图像滤波算法分别使用频域高斯高通滤波器、频域高斯低通滤波器、频域低通滤波器和加权均值滤波器等对采集的电力仪表图像进行处理。结果表明，使用加权均值滤波器、低通滤波器在处理高斯噪声图像上可获得良好效果。

1.3 仪表图像边缘及直线检测

为更加清晰地读取电力仪表数值，需对仪表图像边缘加以准确定位，本文主要通过Canny算法、Hough算法实现对电力仪表边缘、直线检测。其实现步骤为：①将旋转中心作为中心，将表盘直径当作边长，将正方形感应区域提取出来，以达到将Canny算子作用时间减小的目的；②对比经Hough算法变换后的结构和直线特征，将位置与距离不满足要求的干扰情况剔除；③利用Canny边缘算子特点情况，对计算的误差进行修正与分析，具体的步骤如图3所示。

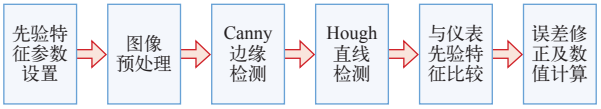


图3 仪表识别算法流程

Canny边缘算法在处理对比度较低的图像上具有较好的效果。图4中高低阈值分别为0.2、0.5，高斯低通滤波模板$\sigma=1$的Canny边缘检测结果。Hough直线检测是当前非常有效的直线检测算法，能够检测用参数空间表示的任意形状，如正方形、椭圆、圆和直线等，具有抗干扰性强的优点，其依据的思想为：将图像实际坐标变换到Hough参数坐标中，并实现Hough参数的离散化处理，产生多维矩阵，在参数表达式中带入二值图像中的点，累加满足相应参数的矩阵元素，从而获得相应参数属性的图形。

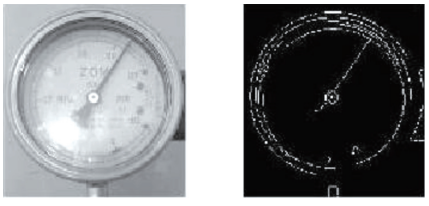


图4 Canny边缘检测

2 数值计算和误差修正

2.1 数值计算

电力仪表刻度通常情况下是均匀的，在对其进行计算时可借助指针的偏转角度实现，计算依据下式，即

$$I(\phi)=I_{\min}+\left(\frac{I_{\max}-I_{\min}}{\theta}\right)\phi \quad (3)$$

式中，$I(\phi)$为仪表读数；ϕ为仪表指针偏转角度；θ为由最小读数至最大读数的偏转角度；$I_{\min}$为仪表的最小读数；$I_{\max}$为仪表的最大读数。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2 误差修正

使用Canny算子对图像的边缘进行处理，当仪表指针边缘直线当作指针直线获得的数据会存在较大误差，因此，应采取相关方法对其进行修正处理。误差修正依据的几何模型如图5所示。

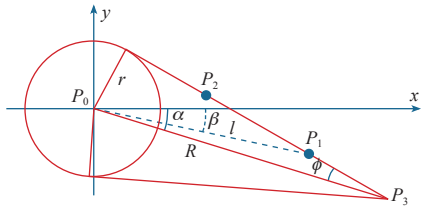


图5 误差分析几何模型

在该几何模型下给出修正数值依据的计算公式，即

$$I(\phi,l)\approx I_{\min}+\left(\frac{I_{\max}-I_{\min}}{\theta}\right)\left[\phi+\arccos\left(\frac{l^2+R\sqrt{l^2-\left(\frac{R}{10}\right)^2}}{Rl}\right)\right] \tag{4}$$

根据误差修正几何模型，当将P_1P_2直线段检测出后，考虑到P_1和圆心相距的距离较远，因此，将P_0P_1直线长度l与偏转角度ϕ计算出来，并将其带入到式（4）中便可获得仪表读数。

3 电力仪表图像嵌入式识别技术应用分析

3.1 应用平台的搭建

变电站中不同电力设备的规格、位置要求非常严格，尤其还需考虑布线情况。而嵌入式系统硬件具有功耗低、性能强及可裁剪性等优点，因此比较适合应用在变电站这类复杂的场所[6-8]。接下来从硬件和软件两方面入手，搭建图像嵌入式识别技术验证平台，以验证文中讨论的识别技术的实际效果，为在实际工作中的应用推广奠定基础。

一方面，搭建平台的硬件系统。验证平台运用由核心板和底板构成的Real6410开发板，其在高速电子线路布线方面优势比较明显，其只需根据实际情况进行两层电子线路底板的设计即可，使得产品硬件成本大大降低。此外，底板上含有的外设接口比较丰富，如SD卡槽、串口、以太网口和触摸屏幕等。另一方面，搭建平台的软件系统。验证平台的软件系统主要由OpenCV、QT4.5.2和Linux构成。其中使用QT4.5.2实现对用户图像界面的编写，对算法识别参数进行设置，而后对OpenCV图像处理函数进行调用。

搭建完成后的验证平台工作流程如图6所示，将待识别的图像打开，依据仪表对先验知识进行设定，而后运用OpenCV函数实施Hough直线检测以及Canny边缘检测，最后依据先验特征对指针直线进行提取，并计算相关数值。

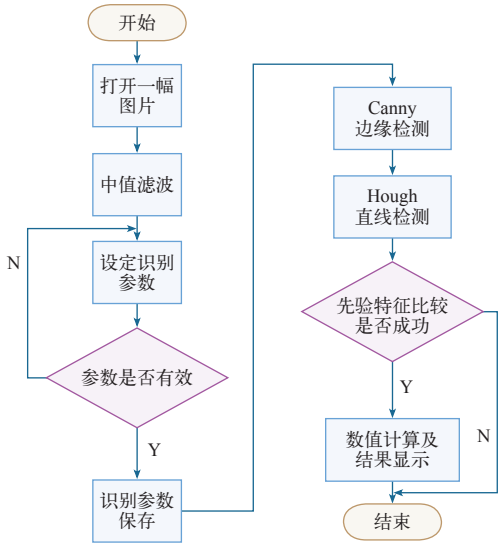
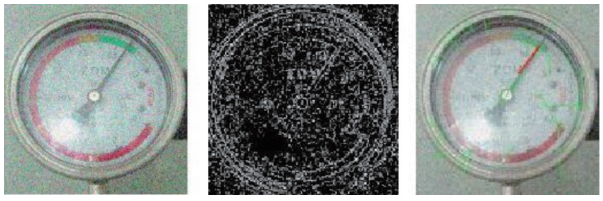


图6 验证平台工作流程

3.2 应用结果分析

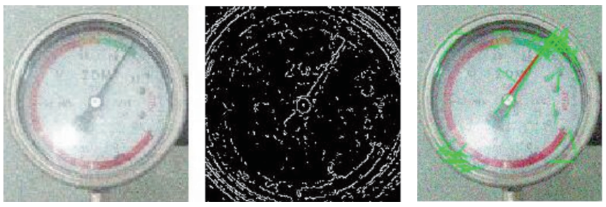
为对仪表图像识别结果进行验证，验证时分别将椒盐噪声、随机噪声和高斯噪声等添加到原图像上。为方便对比，分别列出针对不同图像的噪声处理结果，如图7～图10所示。



（a）随机噪声图像 （b）Canny边缘检测 （c）Hough直线检测

图7 随机噪声图像处理结果

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

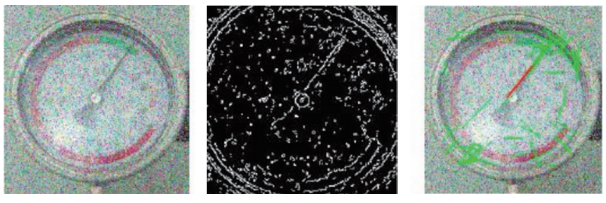


（a）高斯噪声图像　（b）Canny边缘检测　（c）Hough直线检测

图8　高斯噪声图像处理结果

（a）干扰图像　（b）Canny边缘检测　（c）Hough直线检测

图9　直线污垢干扰处理结果



（a）椒盐噪声图像　（b）Canny边缘检测　（c）Hough直线检测

图10　椒盐噪声干扰处理结果

4　结束语

对电力仪表图像嵌入式识别技术进行探讨，借助Canny边缘检测实现图像边缘的生成，而后给予Hough直线检测，在参考先验结构特征的基础上对有效指针位置加以确定，而后获得仪表读数。其优点表现在：①对准刻度通过指针的最大、最小值设定实现，减少字符识别，使得机器字符识别算法的复杂性大大降低；②将表盘宽度、指针长度等一些先验特征信息加以考虑，提高了识别算法的抗干扰水平，获得了预期的图像处理效果。

参考文献

[1] 司佳伟，陈圣俭．嵌入式视频监控系统中变电站设备的仪表指针图像识别 [J]．中国电力教育，2007 (增刊1)：309-311．

[2] 梁海军．嵌入式图像采集与处理系统实现技术研究 [D]．西安：西安电子科技大学，2009．

[3] 吴国良．仪表的图像识别及智能图像监控方法研究 [D]．重庆：重庆大学，2009．

[4] 尤晓俊．基于图像识别的数字仪表自动校验系统研究 [D]．淮南：安徽理工大学，2013．

[5] 张欢欢，汪亚明，郑俊褒．基于嵌入式图像处理的仪表自动识别技术研究 [J]．工业控制计算机，2015 (3)：9-10，13．

[6] 董保同．基于嵌入式Linux非线性指针式仪表识别系统的研究 [D]．广州：广东工业大学，2006．

[7] 孙浩晏．基于机器视觉的指针式仪表读数识别系统研究 [D]．长春：吉林大学，2015．

[8] 李琪．基于BF531的数字仪表图像识别系统研究 [D]．杭州：杭州电子科技大学，2012．

（收稿日期：2015－12－17）EA

欢迎订阅　欢迎投稿　欢迎刊登广告

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net