

基于图像处理技术的电能表外观检测系统

高雨翔^{1,2}, 黄奇峰^{1,2}, 蔡奇新^{1,2}

(1. 江苏省电力公司 电力科学研究院, 南京 211103; 2. 国家电网公司 电能计量重点实验室, 南京 211103)

摘要: 为适应智能电能表自动化检定的要求, 设计了由图像处理技术完成外观检测功能的系统, 实现了外观检查的自动化, 解决了人工检测方法工作量大、效果不佳的问题; 系统采用高性能 CCD 相机完成图像采集, 确保图像信息丰富完整; 利用图像平滑去噪、形态学处理等技术完成图像的预处理, 大幅降低后续比对的难度; 运用基于高斯金字塔的混合配准算法完成图像配准, 最终实现待检图像与模板图像之间匹配程度的检测; 该方法检测时间短, 正确率高, 已成功应用于省级计量中心电能表自动化检定线, 满足生产需求。

关键词: 图像处理; 外观检测; 预处理; 图像配准; 金字塔

Electricity Meter Visual Inspection System Based on Image Processing

Gao Yuxiang^{1,2}, Huang Qifeng^{1,2}, Cai Qixin^{1,2}

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. State Grid Key Laboratory of Electric Energy Measurement, Nanjing 211103, China)

Abstract: To meet the demand of smart electricity meter automatic calibration, a visual inspection system based on image processing is designed, which achieves automatic visual examination and solves the problems of high labor intensity and low efficiency in manual inspecting method. The system uses high-performance CCD camera to collect photos to ensure the plenty and wholeness of images information. Besides, it adopts image preprocessing such as smoothing and morphological technology to decrease degree of difficulty in follow-up comparison. Also, mixed registering algorithm based on Gauss pyramid is employed in image registration, which finally serves for the inspection of matching degree between sensed image and template image. This method costs short inspecting time and has high accurate rate, which has been successfully applied in electricity meter automatically calibrating line of provincial-level measurement center and meets producing need.

Keywords: image processing; visual inspection; preprocessing; image registration; pyramid

0 引言

为保证计量器具的准确性与可靠性, 电能表在用于计量之前都必须经过一整套检定项目的测试^[1], 其中外观检查是检定中不可或缺的一项。对于日益普及的智能电能表, 其显示用的液晶屏内的展示内容日趋复杂^[2], 对液晶显示屏是否合格的检测成为外观检查中关键的一环^[3]。传统检定流程中, 采用人工肉眼观察显示频是否完好、显示是否正常、有无坏点等。由于人眼的识别率有限, 主观判别标准有差异等因素, 这种方式劳动强度大, 检测正确率低^[4], 不利于大规模集中化高效率检定的实现^[5], 因此电能表外观检查的自动化实现成为当下最为可行的解决方法^[6]。

本文设计实现了一种适用于电能表自动化检定线的外观检测系统, 采用图像处理技术完成对智能电能表的外观检查。该系统采用中值滤波、灰度形态学的图像预处理技术明显地突出待检区域的特征^[7], 弱化干扰因素影响, 将原始图像变为更适合机器处理的计算机图像, 运用基于高斯金字塔的混合配准算法完成图像配准以快速并准确地实现待检图像与模板图像的空间对准, 确保了检测的准确性与效率。

1 系统组成及原理

执行外观检查检定项目时, 首先对待测电能表外观拍照成像, 经过预处理与图像配准, 最后与预设的模板图像对比判定是否符合要求并给出结果(见图1)。

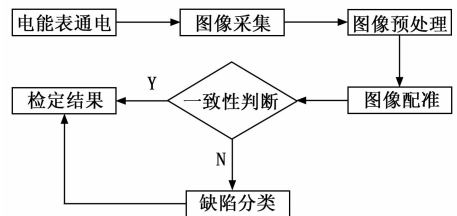


图1 检测流程图

2 图像处理技术

2.1 图像采集

待检电能表被装在工装板上, 经由输送线送进外观检查装置, 插针模块插入电能表接线柱对其通电使指示灯与液晶显示屏全部亮起, 此时逐行扫描 CCD 相机对外观进行拍照并将图像存入采集卡中。

2.2 图像预处理

2.2.1 滤波

系统采用 CCD 相机采集图像, 工作时, 周围的光照强度等环境因素无法保证完全稳定, 环境的变化或 CCD 传感器自身的问题都难免会使图像在采集和传输的时候受到干扰, 给图像带来噪声, 直观的表现就是图像中存在一些相对周边图像较为突出不协调的点块^[8]。为了图像特征分析的顺利进行, 必须对图像进行滤波以去噪。

常用的滤波方法包括均值滤波、双边滤波、中值滤波、维纳滤波、高斯滤波、小波滤波等^[9], 这些方法较为成熟并已得到广泛应用。其中, 中值滤波对于滤除图像中孤立的噪声点如椒盐噪声非常有效, 而且计算的复杂性也很低^[10]。从系统采集到的大量图片来看, 椒盐类噪声是本系统图像噪声的主要组

收稿日期:2015-07-31; 修回日期:2015-09-11。

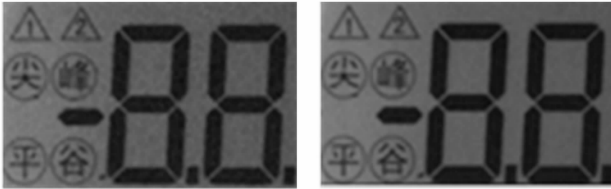
作者简介:高雨翔(1989-),男,江苏南京市人,硕士,工程师,主要从事电气测量与自动控制技术研究。

成部分,为削弱噪声影响并且不增加过多程序运行处理时间,采用中值滤波对图像进行平滑去噪。

中值滤波是一种非线性平滑滤波方式,其对图像滤波的基本原理是把图像中的点的灰度值用该点的一个邻域中各点灰度值依次排序后的中值替换^[8],这里选取长 3 像素宽 3 像素的十字形区域作为邻域(其中区域中心点为目标像素点),遍历所有目标像素进行排序替换得到滤波后的图像(见图 2),算法的数学意义如(1)式:

$$X(i, j) = Med\{Y(u, v) \mid (u, v) \in R\} \quad (1)$$

R 表示邻域区域, (u, v) 为邻域内的点。



(a) 滤波前

(b) 滤波后

图 2 中值滤波效果

2.2.2 灰度形态学

常用的形态学运算有 4 种:腐蚀,膨胀,开运算和闭运算。在实际用途中,边界提取,空洞填充,图像细化,连通分量提取,图像骨架提取等都是形态学处理可解决范畴^[11]。本文采用差影法做待测图像与模板图像的比对,因此将图像转化为灰度图像进行操作,故采用灰度形态学处理灰度图像(见图 3)。

设 $Q(x, y)$ 是结构元(在灰度形态学处理中一般要求结构元是平坦的), $P(x, y)$ 是待处理灰度图像,遍历图像 $P(x, y)$,在图像中每一个像素 (x, y) 处计算以此像素为中心的结构元的范围类像素灰度最小值,并以这个最小值作为图像 $P(x, y)$ 在 (x, y) 点新的灰度值,称为灰度图像腐蚀:

$$[P \ominus Q](x, y) = \min_{(u, v) \in Q} \{g(x+u, y+v)\} \quad (2)$$

如果在图像中每一个像素 (x, y) 处计算以此像素为中心的结构元的范围类像素灰度最大值,并以这个最大值作为图像 $P(x, y)$ 在 (x, y) 点新的灰度值,则称为灰度图像膨胀:

$$[P \oplus Q](x, y) = \max_{(u, v) \in Q} \{g(x+u, y+v)\} \quad (3)$$



(a) 原始图像



(b) 灰度膨胀



(c) 灰度腐蚀

图 3 灰度形态学处理效果

类似地,先灰度腐蚀再灰度膨胀就是灰度开运算,先灰度膨胀再灰度腐蚀就是灰度闭运算,本文采用灰度形态学处理容差模板。

设有 n 张标准灰度图像 $f_1(x, y), f_2(x, y), \dots, f_n(x, y)$,则参考模板图像 $r(x, y)$ 可以表示为:

$$r(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i(x, y) \quad (4)$$

令容差模板每一点像素为 n 个标准图像在该点处的均方

差,即容差模板 $s(x, y)$ 为:

$$s(x, y) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [f_i(x, y) - r(x, y)]^2} \quad (5)$$

保证统一的检测环境并对待检图像采取预处理与配准等技术操作后,合格图像在大部分区域与模板图像不会有太大差异,灰度差异主要集中在待检区域的边缘上,故对容差模板进行灰度膨胀,使得容差模板边缘得到扩展,提高了边缘偏差容许范围,而其他区域容差范围几乎不变。

2.3 图像配准

由于振动与机械定位精度等因素的影响,每次采集到的图像在空间位置上多少存在一定的差异,主要表现为平移和旋转,这对最终检测带来了一定的影响。为了消除这种影响,必须对图像进行配准^[12],即在空间上进行对准,需要配准的领域涉及两个方面:一是生成标准模板图像的多张标准图像之间的配准,而是待检图像与标准模板图像之间的配准。

常用的配准方法包括基于特征的图像配准法、基于变换域的配准方法、基于灰度的配准方法等。其中基于点特征的图像配准算法中,点特征反映了图像信息的本质特征,同时易于操作和表示,得到了广泛的应用,但过少的点不能充分表示出图像特征,而过多的点又难以保证配准算法的效率。本文设计了一种基于高斯金字塔的混合配准算法,首先选取较少的点计算简单仿射变换快速完成粗略的预配准,消除大尺度的几何差异,而后运用高斯金字塔实现精确配准。由于金字塔的快速收敛性,在配准精度较高的情况下效率优于单一的特征配准方式,此法兼顾了配准的精度和速度。

首先在模板图像中选取两个定位点,设坐标为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$,设待测图像中对应两点的坐标为 $(x_3, y_3), (x_4, y_4)$,则有:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ \dots & \dots \\ x_2 & y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_3 & y_3 \\ \dots & \dots \\ x_4 & y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1 & t_1 \\ \dots & \dots \\ t_3 & t_4 \end{bmatrix} \quad (6)$$

求解矩阵参数即可求得简单的仿射变换对图像进行粗略的预配准。下一步采用金字塔策略进行精细配准。为了提高特征匹配的速度,可以选取特征明显的区域进行配准取代全图匹配以节省时间;配准区域选择遵循边缘特征明显且在原图中不重复出现的原则。以选取的区域为原始图像,采用二维空间上 $1/n$ 的亚采样,即在 X, Y 方向上每间隔 $n-1$ 个像素取出一个像素组成一幅尺寸缩减的原图的缩略图,这些图像自下而上依次排列就形成一个金字塔结构^[13](见图 4)。本文采用在二维空间上 $1/2$ 的亚采样,并结合高斯平滑滤波构建金字塔,得到高斯金字塔,其各层图像称为高斯图像。设原始图像为 H_0 ,将其作为高斯图像的第 0 层,第 $k+1$ 层的高斯图像用第 k 层的高斯图像来计算,过程为:将 k 层的图像和一个具有低通特性的窗口函数 $w(m, n)$ 进行卷积,再将卷积的结果进行隔行隔列的降采样,即:

$$H_{k+1}(x, y) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m, n) H_k(2x+m, 2y+n) \cdot w(m, n) \quad (7)$$

$0 \leq k < N, 0 \leq x \leq A, 0 \leq y \leq B$

其中, N 为高斯金字塔的层数; A 为第 $k+1$ 层图像的列数; B 为第 $k+1$ 层图像的行数。窗口函数 $w(m, n)$ 大小取 5×5 ,为:

$$\omega(m,n) = \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

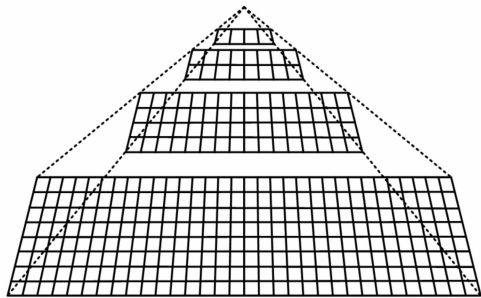


图 4 金字塔结构图

然后使用图像金字塔搜索策略, 首先对金字塔的最上层低分辨率图像中对匹配位置粗匹配, 得到最佳变化系数后。记录下当前搜索结果, 在对下一层图像进行搜索时以这个结果为中心进行搜索, 同时不停修正前一层高斯图像的结构, 重复该步骤至金字塔底层原始高分辨率图像实现精确匹配。

2.4 一致性判断

图像配准之后, 就可以将待测图像与参考模板图像进行差影法图像相减。对于二维平面直角坐标系, 设待测图像为 $f(x, y)$, 参考图像为 $r(x, y)$, 则对应位置像素点 (x, y) 处相减得到的差值 $e(x, y)$ 为:

$$e(x, y) = y(x, y) - r(x, y) \quad (9)$$

如果待检电能表外观是合格的, 则在理想状态下, $e(x, y)$ 全为零。而在实际情况下, 考虑到光源等外部因素对图像采集带来的不确定性以及图像配准不可能使仿射变换得到的图像与模板图像做到百分之百对齐, $e(x, y)$ 全部为一些绝对值很小 (低于阈值) 的数时, 外观就是合格的。将 $e(x, y)$ 与一定倍率的容差模板 $s(x, y)$ 比较就可以确定待测图像与模板图像的一致性程度, 对于超出范围的 $e(x, y)$, 可以综合分析 $e(x, y)$ 的值与位置判断出缺陷位置与种类, 得到最终结果。

3 实验结果与分析

根据原理研制开发了一套完整的电能表自动化外观检查机 (见图 5), 应用于省级计量中心电能表自动化检定线, 主要设备参数如下: 相机采用型号为 DMK 23G274 的 1/1.8-type 逐行扫描 IT CCD, 200 万像素。选取了 3 种品规的电能表分别作了测试, 每种均包含良品与缺陷品, 其中 A 型为单相电能表, B 型为直接式三项电能表, C 型为经互感器式三相电能表, 拍照结果如图 6, 检测结果如表 1。所有缺陷品均能被挑出, 错检率为 0, 良品大部分能被检定合格, 误检率低于 0.8%, 单个表计检测时间不足 2 s。

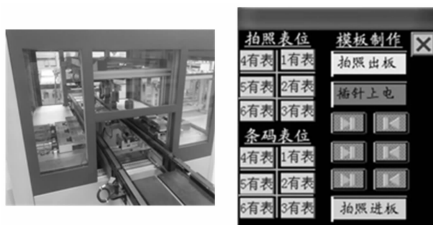


图 5 外观检查机软硬件设备



(a) 参考模板



(b) 待检表计

图 6 外观成像图

表 1 电能表外观检查测试结果

品规	检测数量	检出数量	正检率
A 型电能表良品	28000	27847	99.4%
A 型电能表缺陷品	63	63	100%
B 型电能表良品	4800	4764	99.2%
B 型电能表缺陷品	21	21	100%
C 型电能表良品	1000	993	99.3%
C 型电能表缺陷品	15	15	100%

4 结束语

文中设计了一种基于图像处理技术的智能电能表外观自动检测系统, 该系统以对外观拍照成像的方式将待检表与模板进行对比实现检定, 采用图像预处理与配准技术削弱了干扰因素影响, 实现了外观检查过程的自动化及准确高效。

实验结果表明, 外观不合格的电能表均能被自动识别检出, 外观合格的表计绝大多数被判定合格, 误检率低, 检测过程非常快, 符合电能表自动化检定线的检定需求。

参考文献:

- [1] 何志强, 丁涛, 徐二强. PatMax 和 PatQuick 算法在智能电能表 LCD 屏检测中的应用 [J]. 自动化与仪表, 2012 (5): 54-56.
- [2] 赵丽娜. 液晶显示器缺陷自动识别系统研究与应用 [D]. 苏州: 苏州大学, 2010.
- [3] 张宏刚. STNLCD 外观缺陷检测方法研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [4] 段铮显, 文生平. 基于机器视觉的电子产品外观表面缺陷检测方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (4): 1009-1011.
- [5] 梁伟建, 洪涛, 林笃盛, 等. 基于机器视觉的智能电表外观缺陷检测系统设计 [J]. 电测与仪表, 2013, 50 (10): 65-68.
- [6] 谢钢, 林茂松, 代彦辉. 低对比度下的智能电表液晶屏外观检测研究 [J]. 计算机工程与应用, 2014, 50 (2): 247-251.
- [7] 曹天扬, 申莉. 基于交通遥感图像处理的车辆目标识别方法 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (1): 222-224.
- [8] 徐伟. LCD 外观缺陷检测与识别系统设计 [D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [9] Sree P S J, Kumar P, Siddavatham R. Salt-and-pepper noise removal by adaptive median-based lifting filter using second-generation wavelets [J]. Signal Image and Video Processing, 2013, 7 (1): 111-118.
- [10] Qataweh M, Massad Y. A Uniform Noise median filter Based on a New Type of Filtering Window [J]. Information International Interdisciplinary Journal, 2012, 15 (2): 699-705.
- [11] 叶涵. LCD 显示缺陷自动光学检测关键技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [12] Lin T K, Chien S Y. Support Vector Machines on GPU with Sparse Matrix Format. Machine Learning and Applications [J]. CMLA, 2010, 53: 313-318.
- [13] Wiegand T, Sullivan G. J, etc. Overview of the H. 264/AVC Video Coding Standard [J]. Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13 (7): 560-576.