

基于区域生长的指针式仪表自动识别方法^①

颜友福, 刘金清, 吴庆祥

(福建师范大学 光电与信息工程学院, 福州 350007)

摘要: 针对复杂多指针式仪表的读数自动识别难度大精度低的问题, 提出了一种基于区域生长的指针式仪表自动识别方法. 算法主要由基于区域生长的指针提取算法和基于 Hit-Miss 变换法击中直线或基于最小二乘法拟合直线的指针识别算法所组成. 其中, 区域生长所需的种子点通过基于差影法的模糊聚类自动选取. 实验表明, 基于区域生长的指针提取算法有效提取了指针特征, 为 Hit-Miss 变换法和最小二乘法获得良好的指针识别精度奠定了重要基础. 整个算法高效快速, 能满足实时识别的应用需求. 本文首次提出将基于区域生长的图像分割算法运用于指针式仪表识别领域中, 丰富了指针式仪表识别的应用方法, 获得了良好的识别效果.

关键词: 指针式仪表识别; 区域生长; 模糊聚类; 击中击不中变换

Automatic Recognition of Analog Measuring Instruments Based on Region Growing

YAN You-Fu, LIU Jin-Qing, WU Qing-Xiang

(College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Aiming at the difficulty of recognising complex multi-pointer instruments, this paper presents an automatic recognition system of analog measuring instruments based on region growing. The whole algorithm consists of pointer extraction algorithm based on region growing method and pointer recognition algorithm based on hit-miss transform method or least square method. Besides, the seeds needed by region growing can automatically obtained by fuzzy clustering based on difference image. Experiments show that, the pointer extraction algorithm based on region growing method effectively extract the features of pointers. And the extraction algorithm lays the foundation for the Hit-Miss transform method and the least square method to obtain good recognition accuracy. The algorithm is fast and efficient, can satisfy the requirements of real-time applications. This paper first applies region growing method of image segmentation to the field of analog measuring instruments recognition, enriches the method of analog measuring instruments recognition, achieved good recognition effect.

Key words: analog measuring instruments; region growing; fuzzy clustering; hit-miss transform

指针式仪表由于其结构简单, 维护方便, 价格低廉, 防冻防尘防水, 不受电磁干扰影响等特点, 在冶金、化工、电力等各个行业得到了广泛应用^[1]. 特别在潮湿、强辐射、野外及高温(或低温)等条件下, 数字式仪表的电子器件极易受到干扰或损坏, 往往只能使用指针式仪表. 这些场所由于人员无法长时间停留, 如果需要对仪表示值进行远程监测时, 无法采用 RS232、GPIB 等数字接口进行数据传输. 因此通过视频图像采

集并加以智能识别成为了解决方案.

指针式仪表识别方法中首当其冲的关键算法是指针式仪表的图像分割算法. 目前, 常见的指针式仪表分割算法主要有基于差影法^[2,3]、基于阈值法^[4,5]、基于边缘法^[6]、颜色提取法^[7,8]等.

文献[2-3]在摄像头与仪表表盘无相对运动的情况下, 采集指针位置不同的两幅图像, 指针所在位置的像素值前后相差明显, 而其它坐标的像素值前后相似,

^① 基金项目:国家自然科学基金(61179011);福建自然科学基金(2010J01327)

收稿时间:2014-07-30;收到修改稿时间:2014-09-05

通过差影法便可提取出指针。差影法算法简单快速,但只能适用于如电压表等指针修长的仪表,对于指针短而粗的仪表效果不佳。文献[4-5]采取最常用的阈值分割,通过设置一个或几个合适的灰度阈值门限,将目标和背景区分开。阈值的选取是阈值分割的关键,文献[3]采用迭代的方式获取最优阈值,而文献[4]采用改进的熵最大法获取最优阈值。但它们都只能适用于单一类型的指针仪表,难以适应较为复杂的仪表。文献[6]采用边缘检测的方法寻找指针边缘,通过边缘确定指针位置,而边缘检测方法采用优于 Canny 算法效果的小波变换算法。此方法运算量较大,边缘特征易受噪声干扰,虽然检测出了指针边缘,但同时也检测出大量的无用边缘,难以保证后续 Hough 变换检测直线的准确性和可靠性。文献[7-8]论述了基于 HIS 颜色空间的彩色提取方法,在将指针图像进行灰度化和二值化处理之前,提取了携带色彩信息的指针区域,例如汽车仪表中的红色指针等。对于彩色指针仪表,此方法算法简单,分割效果良好,然分割前需获知待识别指针的色彩信息,且并不适用于非彩色指针仪表。

上述已知的指针式仪表分割算法往往都会存在着只能适用于某一特定类型指针式仪表的问题。

作为经典的图像分割算法之一,基于区域的图像分割算法与其它分割算法相比也同样具有广泛的应用领域。然而,当把目光聚焦于指针式仪表识别领域时,却几乎不见其用武之地。本文发现,其实,基于区域生长的图像分割方法在指针式仪表识别中具有一些其它分割算法所不具备的优势:

首先,基于区域的图像分割更符合人眼视觉特性,能将具有相同特征的连通区域分割出来;其次,能确保分割结果的连贯性和唯一性,一个种子点能且只能实现一个区域的分割,不会出现碎片断块的问题,这一特性确保了指针识别结果的唯一性;再次,特别适合分割较小的目标,比如指针式仪表里的指针,提高分割速度;最后,算法实现简单。

指针式仪表具备这样一个显著特征:无论其指针指向哪个位置,总有一点是固定不变的,那就是指针旋转的轴心(圆心)。

本文依据指针式仪表所特有的指针轴心这一特征,运用基于区域生长的图像分割算法,将该轴心选定作为区域生长的生长点(种子点),很好地融合了二者的优势。恰似一把好枪配合好弹,便可以“指哪打哪”,实

现精确识别。

一个待识别指针对应着一个种子点;多个待识别指针对应多个种子点。这里所谓的“多指针”仪表,是指单个多指针仪表或者多个单指针仪表,而“多指针”即图像采集设备所获取到的图像中的所有指针。本文的多指针识别方法,通过配置种子点,能实现对较为复杂的指针式仪表的识别。对于陌生仪表,只需改变种子点的位置,即可适用于该仪表的识别,具备一定的定制能力,提高了算法的通用性。系统的整体算法主要由指针提取算法和指针识别算法所组成。

1 指针提取算法

如图 1 所示的指针式仪表是一种蒸汽流量计,该仪表有两种类型的指针(1 个黑色大指针和 5 个红色小指针),可以用来验证算法的通用性。

显然,无论是采用差影法、阈值法、边缘法、主色提取法、形态学法等传统指针式仪表分割算法,都很难一次性完整提取出所有指针。而本文所采用的区域生长法恰恰能各个击破。

指针提取算法的具体实现流程如图 2 所示,主要由以下步骤组成:选定种子点、区域生长、提取感兴趣区域、滤波和细化操作等。



图 1 实验所用的指针式仪表

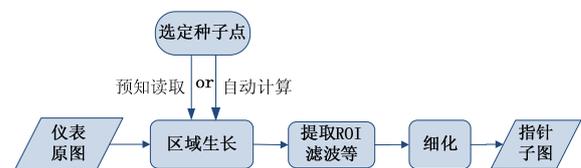


图 2 指针提取算法流程图

1.1 基于区域生长的图像分割

区域生长是一种古老的图像分割方法,最早的区域生长图像分割方法是由 Levine 等人提出的。区域生

长的基本思想是将具有相似性质的像素集合起来构成区域. 具体可描述为: 从某个像素(种子点)出发, 按照一定的准则, 逐步加入邻近像素, 当满足一定的条件时, 区域生长终止. 这样, 一个区域就长成了. 图 3 演示了区域生长的过程. 区域生长的分割效果好坏取决于这三个因素: 1)种子点的选取; 2)生长准则; 3)终止条件.

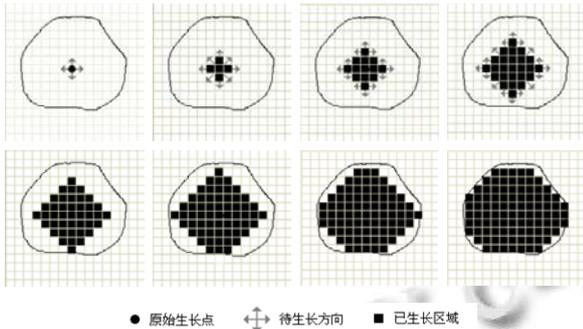


图 3 区域生长过程示意图

本文的区域生长算法主要应用于: 1)种子点的自动选取: 指针识别前, 在经过差影聚类获得粗略种子点之后, 运用区域生长算法获取指针区域, 并计算出指针区域的质心作为最终的精确种子点; 2)指针区域的提取: 指针识别时, 在已知准确种子点的情况下, 运用区域生长算法获取各个指针区域.

1.1.1 种子点的选取方法: 手动与自动

对于单指针的仪表, 只需在安装摄像头时将成像中心对准指针轴心 (x_0, y_0) , 然后以像素点 $(Width/2, Height/2)$ 作为种子点即可.

对于多指针的仪表, 可以采用两种方法: 1)人为辅助选取; 2)算法自动选取. 本文采用基于差影法的改进算法有效地自动选取了种子点.

值得一提的是, 区域生长所需的种子点并不一定要是绝对的指针轴心: 只要满足在指针轴心一定范围 $(x_{seed} - x_0)^2 + (y_{seed} - y_0)^2 < R^2$ 的相似像素点即可(以指针轴心 (x_0, y_0) 为圆心, 以由 1 个像素宽度开始逐渐增加的 r 为半径, 当圆内开始包含非指针像素(背景像素)时, 取此时的 r 为 R , 满足以上条件的种子点 (x_{seed}, y_{seed}) 即有效), 如图 4(a) 中的红色圆圈内所示, 具体视不同指针对象而有所不同. 对于陌生仪表, 当首次成功选取到正确的种子点之后即可将其保存, 下次需要时直接读取即可.

1) 人为辅助选取 本文编写了一个辅助获取种

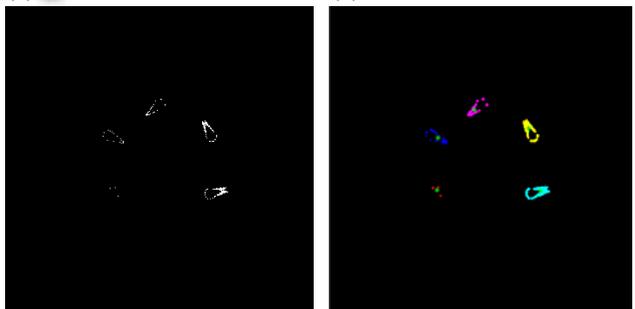
子点的工具, 类似于为 GUI 界面添加控件的想法, 用户在获取了待识别指针式仪表的采集图像后, 根据某指针的位置和大小, 绘制一个指定圆心和半径的圆, 通过对圆心和半径进行微调, 直至该圆与仪表中的圆盘吻合, 至此, 一个种子点就获取好了. 只需按照仪表的指针圆盘布局全部绘制出来即可, 如图 4(b)所示, 6 个种子点均已正确获取并保存在配置文件中, 供后续的区域生长算法读取使用.

2) 算法自动选取 本文采用基于差影法的改进算法实现对种子点的自动获取, 适用于多指针仪表. 而传统的差影法确定指针圆心的思想是在差影之后运用 Hough 变换检测出两条直线再求其交点^[9], 这种方法只适用于指针修长的单指针仪表.

如何在图 4(c)的差影图像中自动选取所需的种子点? 对差影图像的所有前景像素进行聚类成为理想的解决方案. 本文引入模糊 K-means 聚类方法, 它将软计算中的模糊逻辑方法应用到聚类中. 作为一种基于划分的聚类算法, 模糊 K-means 聚类算法, 将 n 个样本组成的集合 X 最优划分为 k 个簇, 使簇内离差平方和达最小值. 即求解数学问题 F:



(a) 种子点选取的有效范围 (b) 人为辅助选取种子点



(c) 自动选取种子点 —差影图像 (d) 自动选取种子点 —模糊聚类

图 4 种子点的选取方法

$$\min F(W, Z) = \sum_{l=1}^k \sum_{i=1}^n w_{li}^\alpha d(Z_l, X_i) \quad (1)$$

其中 $W = [w_{ij}]$ 是 $k \times n$ 隶属度矩阵, $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_k\} \in R^{mk}$, 为 k 个对象组成的集合, $d(\cdot, \cdot)$ 取作欧氏范数的平方. 限于篇幅, 模糊聚类算法具体参见文献[10]. 模糊聚类算法能有效提高聚类的收敛性, 从而提高自动提取种子点的准确性.

基于差影法的种子点自动获取算法流程如图 5 所示, 差影之后对前景像素进行模糊 K-means 聚类, 如图 4(d)所示, 将得到 5 个聚类的中心点(质心)(不同颜色代表不同聚类, 质心以绿色标注). 所得质心已很接近轴心, 但仍无法保证始终处于种子点的有效范围之内, 还需进一步逼近轴心. 所以将所得质心作为粗略的种子点进行区域生长, 最后, 重新计算生长区域新的质心来作为最终的种子点.

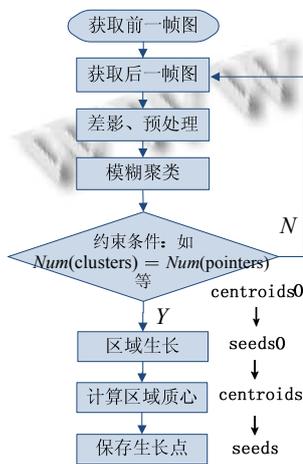


图 5 种子点自动获取算法流程图

将会有如下两类像素集: $\Omega_p = \{q \in N_p : |I(p) - I(q)| \leq T\}$ 和 $\bar{\Omega}_p = \{q \in N_p : |I(p) - I(q)| > T\}$, 其中, T 为衡量相似度的阈值, 且 $N_p = \Omega_p + \bar{\Omega}_p$ [11].

而广度优先搜索是一种图形搜索算法, 以队列之先进先出(FIFO)方式彻底地搜索整张图, 直到找到结果为止. 它是按层次来遍历的, 先是根节点, 然后是第二层子节点, 依次是第三层子节点, 将节点分别放入队列中, 每次从队列中探出首元素, 其邻域的相似像素 Ω_p 将入队作为生长区域, 当队列为空时, 则结束生长.

基于 BFS 的区域生长算法实现流程和分割结果如图 6 和图 7 所示.

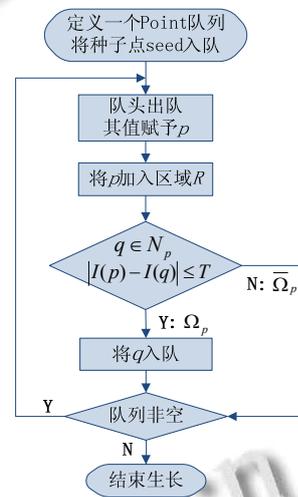


图 6 区域生长算法流程图

1.1.2 区域生长算法

传统的区域生长算法(Region Growing)先将整张图像遍历一遍后再提取种子点所在的区域作为分割结果, 这样的算法思想必将导致时间和空间开销过大. 本文区域生长算法的实现采用广度优先搜索算法(Breadth-First-Search, BFS), 采用队列(Queue)FIFO 方式管理区域生长点, 以种子点的四邻域作为生长方向. 对生长准则和终止条件的改进使得算法快速高效而简单, 时间复杂度和空间复杂度远优于其他区域生长算法, 为视频实时应用和嵌入式平台移植应用提供可能. 以下将对区域生长算法进行简要介绍.

设图像 I 中的生长区域为 R , 包含像素 p 和像素 q . 像素 $p \in R$, 像素 $q \in N_p$, N_p 为像素 p 的邻域: $N_p = \{q : d(p, q) \leq \rho, q \in I\}$, 其中 $d(p, q)$ 是像素 p 和像素 q 的距离, ρ 是欧式距离, 取 $\rho = 1$, 即四邻域. 可以预见的是,

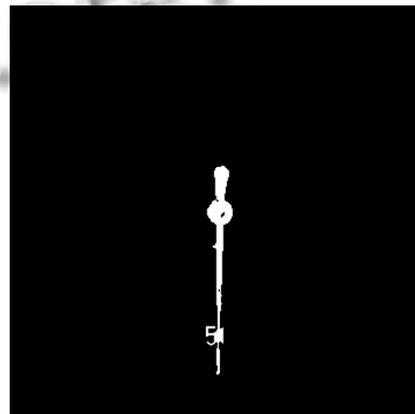


图 7 大指针区域生长的分割结果

1.2 提取感兴趣区域

由于区域生长算法只在指针区域进行生长, 因此, 区域生长的生长结果只有指针前景像素. 而指针前景像素只占到整幅图像的很小比例, 通过提取指针区域

作为感兴趣区域(Region Of Interest, ROI), 有利于大量减少后续算法的运算量, 加快运行速度. 提取结果如图 8(a)所示.



(a)提取感兴趣区域 (b) 滤波细化后的指针图像
图 8 提取 ROI 以及滤波细化的结果

1.3 图像细化

在对提取出的指针区域进行细化之前, 先进行简单的滤波等预处理, 可以修补因噪声引起的细小空洞和突起等, 获得更好的细化效果.

图像细化(Image Thinning)是在保持原有轮廓形状的情况下, 重复地剥掉二值图像的边缘像素, 直至得到图像的骨架的过程. 它有助于突出形状特点和减少冗余信息量, 便于提取指针直线特征.

经试验, Hilditch 细化算法容易产生毛刺, Pavlidis 和 Rosenfeld 细化算法细化结果偏离指针中心轴, 而索引表细化算法^[12]由于只需计算邻域然后查表, 省去各种判断运算, 故速度上优于其它细化算法, 且依据人眼主观细化规则而制作的查找表使得指针图像的细化效果令人满意. 因此, 本文采用基于索引表的细化算法.

基于索引表的细化算法根据一定的判断依据, 预先制作出一张查找表(Look-Up-Table), 然后根据待细化的像素点 p 的八邻域情况进行查表, 若表中元素是 1, 则删除该点(改为背景), 若是 0 则保留. 是否删除待细化像素 p 的判断依据基于文献[13]中条件 $G1, G2, G3, G3'$ 的成立情况: 1) 当且仅当条件 $G1, G2, G3$ 满足时, 删除像素点 p ; 2) 当且仅当条件 $G1, G2, G3'$ 满足时, 删除像素点 p ; 图 8(b)为反复迭代细化直到再也没有可以删除的点之后的最终结果. 可以看出细化后的直线特征明显, 为后续的指针识别奠定基础.

2 指针识别算法

指针识别算法所要得到的结果是指针的读数, 而

读数又与指针所在直线的角度相对应. 因此, 指针识别的关键在于直线检测或角度检测.

直线检测算法常用的有 Hough 变换法检测直线和最小二乘法拟合直线. 本文发现还可以运用形态学击中不中变换(Hit-Miss transform)来击中直线. 因此, 以下将围绕这三种方法展开实验.

Hough 变换法利用点与线的对偶性, 将原始图像的坐标空间 (x, y) 映射为参数空间 (ρ, θ) , 这样就把原始图像中给定曲线的检测问题转化为寻找参数空间中的峰值问题. 即把检测整体特性转化为检测局部特性^[9].

Hough 变换的直线映射关系为:

$$\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \tag{2}$$

最小二乘法作为一种数学优化方法, 通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配, 可用于曲线拟合. 当用于直线拟合时, 直线函数定义为 $y = a + bx$, 式中已知量为 N 个前景像素点 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, N$, 式中未知量为待定参数 a 和 b . 满足误差平方和 $\sum [y_i - (a + bx_i)]^2$ 最小的条件下的直线参数 a 和 b 的最佳估计值的解为:^[14]

$$\hat{a} = \frac{(\sum x_i^2)(\sum y_i) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \tag{3}$$

$$\hat{b} = \frac{N(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \tag{4}$$

形态学击中不中变换是形状检测的一个基本工具, 可以通过选择不同的结构元素来检测不同的形状^[15]. 本文运用击中不中变换法来实现对细化后的单像素指针图像的端点(endpoint)检测. 细化后的指针图像图 8(b)分别与图 9 所示的 8 种结构元素进行 Hit-Miss 变换运算后再进行或运算叠加, 便能击中各种角度的指针端点, 提取到满足条件的两个指针直线端点. 最后, 由两点之间可确定一条直线, 即可计算直线的角度.

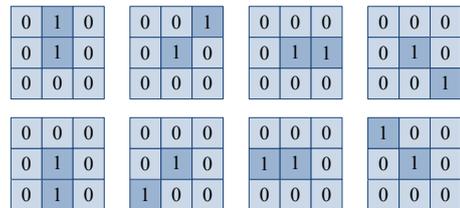
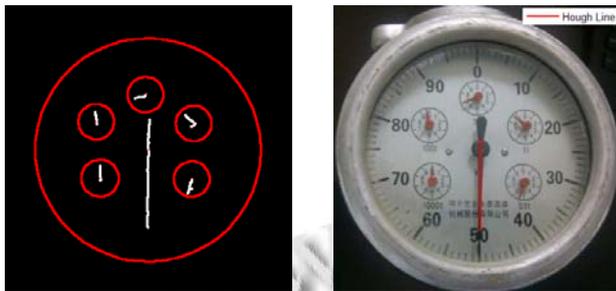


图 9 Hit-Miss 变换使用的 8 种结构元素

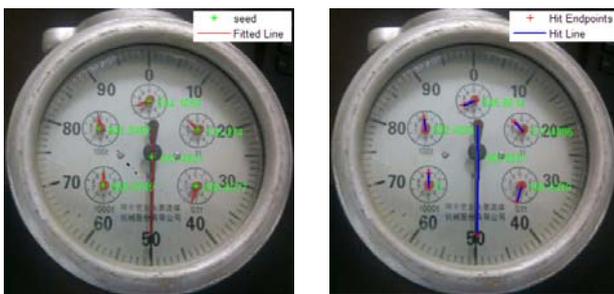
3 实验结果与分析

图 10 和图 11 为以上方法的识别结果和误差分析.

实验结果表明: Hough 变换法难以完全检测到所有指针. 而 Hit-Miss 变换法和最小二乘法都具有较好的指针识别精度, 但二者有所差别: 前者较为“活泼”, 后者较为“稳定”. 当图像质量较差时, Hit-Miss 变换法误差较大(偏离真实值 *realValue* 幅度较大), 而最小二乘法表现相对更好些; 当图像质量较好时, 二者误差都很小, 但 Hit-Miss 变换法比最小二乘法更逼近 *realValue*, 这时直线两端的端点的权重就远高于直线端点之间的点的权重. 具体分析如下:



(a) 指针提取效果图 (b) Hough 变换法检测直线



(c) 最小二乘法拟合直线 (d) Hit-Miss 击中直线

图 10 三种方法的指针识别结果(识别角度以绿色标注)

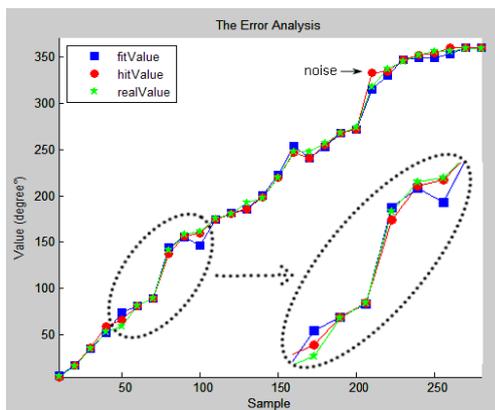


图 11 FitLine 和 HitLine 方法的误差分析

Hough 变换法检测直线: 检测效果与设置参数密切相关, 一种参数很难兼容各种情况的指针直线的检

测, 往往只能检测到大的指针, 且检测过程较为费时.

最小二乘法拟合直线: 纯粹的数学工具, 无需任何不确定参数的辅助, 误差较小, 精度较高, 允许一定程度的噪声干扰, 具备较好的鲁棒性.

Hit-Miss 变换法击中直线: 适合多指针同时识别, 能确保识别结果的唯一性, 虽然当噪声干扰或光线变化较为严重时, 容易引起指针首尾两个像素偏移真实位置. 但通过剔除异常点, 能很好的提取到准确的指针直线端点. 当图像采集质量较为稳定时, Hit-Miss 变换法具有比最小二乘法更为准确的识别率.

表 1 为本文的指针式仪表识别方法的识别误差情况. 其中, 对于指针类型而言, 大指针的识别误差显然小于小指针; 对于识别方法而言, 在本文的实验环境下, Hit-Miss 变换法(HitLine)的识别误差整体上小于最小二乘法(FitLine).

表 1 指针式仪表识别方法的识别误差

| ERR % | 指针类型 | | | |
|-------|----------|----------|------|------|
| | 小指针(红 5) | 大指针(黑 1) | 平均 | |
| 识别方法 | FitLine | 1.33 | 0.14 | 1.14 |
| | HitLine | 0.97 | 0.10 | 0.83 |
| | 平均 | 1.15 | 0.12 | — |

需要强调的是, 以上的指针识别结果是建立在基于区域生长的指针提取算法之上的. 基于区域生长的指针提取算法是本文指针式仪表自动识别方法采取的关键算法. 由区域生长算法提取的指针目标特征明显、效果良好, 为指针识别奠定基础. 并且, 由于种子点(x_{seed}, y_{seed})的选取允许一定的范围, 故指针识别过程允许一定程度的摄像头与指针式仪表的相对位移, 这有利于应用在可能会伴有震动的工业现场环境. 另外, 为确保指针识别过程的稳定性和准确性, 可将指针式仪表固定于环形光源环境下进行识别, 甚至密封起来.

4 结语

本文首次提出将基于区域生长的图像分割算法运用于指针式仪表识别领域中, 丰富了指针式仪表识别的应用方法, 获得了不错的识别效果. 经试验, 算法能良好适应多种类型的指针式仪表的识别任务. 通过配置种子点, 能较好的应对较为复杂的多指针仪表, 算法高效快速, 能满足实时识别应用.

基于区域生长的指针提取算法有效提取了指针的

直线特征,为后续指针识别算法奠定基础。而基于 Hit-Miss 变换法击中直线和基于最小二乘法拟合直线的指针识别算法,二者识别效果良好,各有千秋。以上共同实现了指针式仪表的自动识别方法。

本文算法经 Matlab 平台验证后已成功移植到 OpenCV 平台,获得更快的运行速度;并已能运行于基于 Android 操作系统的嵌入式硬件平台,获得更广的应用范围。

参考文献

- 1 宋人杰,赵立亚.Hough 变换的改进及其在电厂指针式仪表自动识别中的应用.东北电力大学学报,2011,31(3):42-46.
- 2 Alegria FC, Serra AC. Automatic calibration of analog and digital measuring instruments using computer vision. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 2000, 49(1): 94-99.
- 3 金京犬,刘清.基于嵌入式 ARM 的指针式仪表读数的识别研究.南京师范大学学报,2009,9(1):23-27.
- 4 薛建荣,杨明.基于图象处理的复杂指针式仪表的识别.中国仪器仪表,2005,7(10):73-74,82.
- 5 任光龙.指针式仪表图像的快速分割法研究.计算机工程与设计,2005,26(3):790-792.
- 6 陈杰来,尤丽华,张秋菊.数字图像处理技术在指针式仪表读数系统中的应用.江南大学学报,2005,4(6):611-614.
- 7 孙凤杰,安田江,范杰清,等.电力变压器温度表指针位置识别研究.中国电机工程学报,2007,27(7):70-75.
- 8 冀辰宇,阚一凡,焦圣喜.基于颜色提取方法的仪表彩色指针识别.东北电力大学学报,2012,32(3):79-82.
- 9 Matas J, Galambos C, Kittler J. Robust detection of lines using progressive probabilistic hough transform. Computer Vision and Image Understanding, 2000, 78(1):119-137.
- 10 胡婷婷.模糊 k-means 聚类方法研究及改进[硕士学位论文].广州:中山大学,2011.
- 11 Jundi D, Runing M, Songcan C. A scale-based coherence connected tree algorithm for image segmentation. IEEE Trans. on Image Processing, 2008,17(2):204-216.
- 12 朱俊,童学锋.常见细化算法在手写体汉字识别中的应用与比较.微型电脑应用,2004,20(6):46-47.
- 13 Louisa L, Lee SW, Suen CY. Thinning methodologies-a comprehensive survey. IEEE Trans. Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(9): 869-885.
- 14 易大义,沈云宝,李有法.计算方法.杭州:浙江大学出版社,2002.
- 15 冈萨雷斯等著.数字图像处理.第3版.北京:电子工业出版社,2011.