

基于 ACSS 角点定位的液晶显示仪表示值识别算法^①

苑玮琦, 江海燕

(沈阳工业大学 视觉检测技术研究所, 沈阳 110870)

摘要: 针对工业现场具有复杂背景的液晶显示仪表示值识别困难的问题, 提出一种基于 ACSS(Advanced Curvature Scale Space, 改进曲率尺度空间)角点定位的示值识别方法. 首先根据 ACSS 角点检测原理设计出适合于检测示值框顶点的方法, 以定位示值区域; 其次利用字符的灰度特性确定字符串区域并对字符串进行分块局部二值化, 以切分字符串; 最后通过三线扫描法识别字符. 对热能表示值的识别实验证明了该方法具有较强的鲁棒性和适应性.

关键词: 液晶仪表; 示值识别; ACSS; 角点定位; 局部二值化

Recognition Algorithm for Display Value of LCD Meter Based on the ACSS Corner Localization

YUAN Wei-Qi, JIANG Hai-Yan

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: In view of the problem of recognition for the value of LCD meter under the industrial field with complex background, an algorithm based on ACSS corner localization is proposed. Firstly, according to the principle of ACSS corner detection, a method which can be suitable to detect vertices of the value area is designed to locate the area. Secondly, the gradation characteristics of the display value is used to determine the area of the string, the local threshold is used to binary the string and then split the string. Finally, three-line scanning method is used to identify the character. Experimental results for heat meter prove the robustness and adaptability of the proposed algorithm.

Key words: LCD meter; value recognition; ACSS; corner localization; local binarization

随着数字电子技术的不断发展, 液晶显示仪表作为一种测量显示的电子仪表, 以其精度高、读取方便、易操作等优点^[1], 在工业领域得到了广泛的应用. 由于此类仪表的种类繁多且没有与计算机进行通信的统一接口, 因此对其的检定工作仍处于人工阶段. 传统的人工检定方法工作量大, 重复劳动多, 检定结果精度低, 可靠性差^[2]. 基于上述原因, 设计出一种适应于工业现场具有较复杂背景的液晶显示仪表示值识别算法, 将对仪表的自动化检定工作起到推动作用, 并且具有一定的应用价值和发展前景.

常见的示值识别算法包括两大部分: 示值区域的定位和字符的识别. 对此, 申小阳、唐轶俊等人在文献[3]中提出, 在二值图像中采用区域生长法定位字符串

区域并统计字符的交线特征对字符进行分类识别. 李文博也是在二值图像上通过寻找连通域的方法对示值区域进行定位, 再提取各字符的非对称分块统计特征, 最后用基于 SVM(支持向量机)的数字识别方法对各数字字符进行识别^[4]. 这两种方法均是利用阈值分割获取二值图像进行定位, 其算法容易实现, 但要求示值区域灰度均匀且与邻域的灰度差别大, 否则会导致二值化失效. 在文献[5]中谭义论述了在灰度图上利用梯度矩阵切割算法定位示值区域并使用模板匹配法识别字符. 这种算法避免了由于二值化失效而引起的无法定位问题, 其局限性在于要求仪表背景简单, 不能存在灰度变化剧烈的干扰区域, 否则会由于背景的干扰而造成误定位的问题. 由于工业现场光照环境较差, 拍

^① 收稿时间:2014-10-29;收到修改稿时间:2014-12-10

摄背景较复杂且表的摆放会有不同程度的倾斜,因而使用上述方法往往达不到精确定位及正确识别的目的。

综上所述,针对工业现场液晶显示仪表示值识别问题,结合示值区域自身的特点,提出一种基于ACSS角点检测算法进行定位的示值自动识别方法,在定位时,该方法避免了光照条件较差、复杂背景下难以定位的问题,在识别时,该方法由于利用了自适应分块局部二值化方法获取字符边缘图像,克服了因光照不均所带来的噪声较多、字符粘连等影响,因此,提高了识别的准确率。该方法的鲁棒性和适应性较强,具有实用价值。

1 示值区域定位

示值区域的准确定位是实现整个算法的关键技术,直接影响算法性能的好坏。图像特征是表征一个图像最基本的属性或特征,因而定位示值区域就是要寻找其特征,利用特征将其与其他区域区分开。液晶显示仪表示值区域具有以下特征:①该区域在图像中呈现为矩形区域;②区域的四个顶点均为角点。因为在所有的图像特征中,角点特征不随光照条件变化、适应性强^[6],所以本文利用角点检测的方法对仪表的示值区域进行定位,定位过程包括以下三部分:①角点检测;②示值框定位;③示值框校正。

1.1 角点检测

角点是二维图像灰度变化剧烈的点或图像边缘曲线上曲率极大值的点^[7],根据不同的定义,其检测算法可以分为两类^[8]:一是基于灰度图像的角点检测算法,如Harris算法^[9];二是基于二值边缘图像的角点检测算法,如ACSS算法^[10]。在Harris算法中定义了角点响应函数,检测时遍历灰度图像中所有点,其中大于某一阈值且为局部极大值的点均视为角点,该阈值由人为设置,它的取值对检测结果有很大的影响,导致其适用性较差而且检测出的角点不可控,不能在检测过程中根据实际需要只保留具有特定位置关系的角点。因此,为了能够在图片质量不同的情况下准确地提取具有一定位置关系的特征点,本文选用的是由X. C. He和N. H. C. Yung提出的ACSS角点检测算法,它首先通过canny算子获取图像的二值边缘曲线,然后对每条曲线上的点进行检测,在同一曲线上的角点在检测结果中处于相邻的位置。其中,canny算子是一种

被广泛使用的边缘检测算子,它具有很好的抗噪能力和检测精度,可以得到细节和连续性较好的边缘图像。利用canny算子进行边缘检测时,主要包括以下四步:用高斯滤波器平滑图像、用一阶偏导的有限差分计算梯度的幅值和方向、抑制梯度幅值的非极大值和用双阈值法检测和连接边缘^[11]。

由于示值框的四个顶点位于同一矩形轮廓上,因此在使用ACSS算法进行角点检测时可以根据示值框的周长对轮廓曲线进行筛选,只在符合条件的轮廓上进行检测,不但能使干扰角点的数目锐减,还可以简化四个顶点的提取过程,提高算法的实时性。

针对示值框顶点检测的ACSS算法步骤如下^[10]:

①在灰度图像上,利用canny算子进行边缘检测,得到边缘二值图像;

②从边缘图像中跟踪边缘轮廓,根据示值框宽度和高度的先验知识计算示值框的周长,对轮廓曲线进行筛选,只保留长度符合示值框周长范围的曲线;

③在较低的尺度 σ 下,用高斯函数对轮廓曲线进行平滑处理,降低噪声的影响,进而计算轮廓曲线上每一点的曲率,以获得所有的特征角点,保证不漏检;

④局部曲率极大值的点都视为角点的候选点,其中包括圆角点(圆形边缘轮廓曲率最大的点)和边缘噪声角点(由噪声引起的某点局部曲率突然增大的点)这两类伪角点;

⑤根据自适应的局部阈值剔除圆角点;

⑥计算候选角点在支撑区域的角度 θ_i ,当 $\theta_i \in [162^\circ, 198^\circ]$ 时,认为它是边缘噪声点,将其剔除。

在步骤②中,设轮廓曲线为 L ,则其长度 C_L 为:

$$C_L = \sum_{i=1}^n 1 \quad (1)$$

其中 \sum 为求和运算, n 为组成 L 的像素个数。

设示值框宽和高分别为 W 和 H ,则示值框的周长 C 为:

$$C = 2(W + H) \quad (2)$$

将表示值框宽度和高度的先验值代入公式(2)计算出其周长的最小值和最大值分别为 C_{min} 和 C_{max} ,若 $C_{min} < C_L < C_{max}$,则保留轮廓 L ,否则舍弃。

在步骤③中,以高斯函数的参数 σ 为尺度对曲线 L 进行平滑后,曲率 k 的计算公式为^[12]:

$$k(\mu, \sigma) = \frac{X_\mu(\mu, \sigma)Y_{\mu\mu}(\mu, \sigma) - X_{\mu\mu}(\mu, \sigma)Y_\mu(\mu, \sigma)}{(X_\mu(\mu, \sigma)^2 + Y_\mu(\mu, \sigma)^2)^{3/2}} \quad (3)$$

$$X_\mu(\mu, \sigma) = x(\mu) \otimes g_\mu(\mu, \sigma); X_{\mu\mu}(\mu, \sigma) = x(\mu) \otimes g_{\mu\mu}(\mu, \sigma) \quad (4)$$

$$Y_u(\mu, \sigma) = y(\mu) \otimes g_\mu(\mu, \sigma); Y_{uu}(\mu, \sigma) = y(\mu) \otimes g_{uu}(\mu, \sigma) \quad (5)$$

这里 \otimes 是卷积运算, $x(\mu)$ 和 $y(\mu)$ 分别为以弧长 μ 为参数曲线上点的横坐标和纵坐标, $g(\mu, \sigma)$ 是尺度为 σ 的高斯函数, $g(\mu, \sigma) = e^{-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}} / (\sigma\sqrt{2\pi})$, $g_\mu(\mu, \sigma)$ 和 $g_{uu}(\mu, \sigma)$ 是关于 μ 的一阶和二阶导数.

下面分析了圆角点和噪声角点与特征角点的区别, 给出了剔除这两类伪角点的具体实现过程.

圆角点具有如下特点: 在支撑区域内, 它与各点的曲率相差较小, 其中支撑区域 $=\{u-L_1, \dots, u-1, u, u+1, \dots, u+L_2\}$, u 为候选角点, $u-L_1$ 和 $u+L_2$ 分别为 u 邻域内两个方向上曲率最小值的点. 因此在步骤⑤中, 使用自适应的局部曲率阈值将圆角点剔除, 圆角点的曲率小于门限阈值. 此阈值 T 是由支撑区域内各像素点的曲率决定的, 计算方法如下^[10]:

$$T(u) = C \times \bar{K} = C \times \frac{1}{L_1 + L_2 + 1} \sum_{i=u-L_1}^{u+L_2} k(i) \quad (6)$$

其中, \bar{K} 为支撑区域内各点曲率的平均值, C 是一个常数, 取值范围为1~2.

和特征角点相比, 噪声角点在较大的局部区域内弯曲度小, 角度大. 因此通过寻找一个适当的支撑区域计算候选角点的角度, 就可以达到剔除边缘噪声点的目的. 此时的支撑区域被定义为候选角点 u 以及它的前一个候选角点 $u-L_3$ 和后一个候选角点 $u+L_4$ 之间的区域. 设任意点 i 的坐标为 $(x(i), y(i))$, $i=u-L_3, \dots, u-1, u, u+1, \dots, u+L_4$, 则 u 在支撑区域内的角度 θ_u 为^[10]

$$\theta_u = \left| \arctan \left(\frac{\Delta y_2}{\Delta x_2} \right) - \arctan \left(\frac{\Delta y_1}{\Delta x_1} \right) \right| \quad (7)$$

$$\Delta y_2 = \frac{1}{L_4} \sum_{i=u+1}^{u+L_4} y(i) - y(u); \Delta x_2 = \frac{1}{L_4} \sum_{i=u+1}^{u+L_4} x(i) - x(u) \quad (8)$$

$$\Delta y_1 = \frac{1}{L_3} \sum_{i=u-L_3}^{u-1} y(i) - y(u); \Delta x_1 = \frac{1}{L_3} \sum_{i=u-L_3}^{u-1} x(i) - x(u) \quad (9)$$

其中 \arctan 为反正切函数.

经多次实验发现 $\sigma=5$, $C=1.5$, $\theta_u \in [162^\circ, 198^\circ]$ 时, 对待测图片的角点检测效果最好, 能够将仪表示值框的顶点均准确提取出来, 如图1(h)所示. 对比图1(d)和图1(g)可以看出, 在保证检测出示值框顶点的基础上, 根据实际需要对轮廓筛选后, 干扰角点的数目大大减少. 由于表盘图像拍摄背景复杂且环境因素干扰多, 图像中存在圆角点和噪声角点, 如图1(g)所示, 因此

伪角点的剔除对于提取示值框的四个顶点也是十分必要的. 综上, 根据ACSS角点检测原理, 结合本实验的实际需要所设计的方法不仅可以达到检测示值框顶点的目的, 而且排除了大部分干扰角点. 基于由点定框的思想, 随着干扰角点数目的减少, 该方法进一步简化了下文的示值框定位过程.



(a)表盘图像 (b)灰度图像 (c)未筛选的轮廓图像 (d)图c未去



(e)图c去除伪 (f)筛选后的 (g)图f未去除伪 (h)图f去除伪角点的标注图像 轮廓图像 角点的标注图像 点的标注图像

图1 角点检测

1.2 示值框定位

分析ACSS角点检测原理可以知道, 在检测出的角点中, 示值框的四个顶点具有如下特殊的位置关系: 以某一点为起点, 按逆时针顺序排列, 即相邻两角点之间的距离交替为示值框的宽和高, 利用此特性及示值框宽与高的先验知识从检测出的角点中获取示值框的四个顶点 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 、 (x_4, y_4) , 根据顶点坐标定位出的示值区域如图2所示, 其中 x 方向定义为宽, y 方向为高.



图2 示值框定位结果

1.3 示值框校正

在工业现场表的摆放一定存在些许程度的倾斜, 必须对倾斜加以校正以保证识别的准确性. 校正的关键是找到倾斜角度, 通常的做法是在图像中找到最长的一条直线, 以这条直线的倾斜角度作为图像整体的倾斜角度^[13]. 在图2中不难看出其最长的一条直线为示值框的宽, 利用顶点坐标计算宽边倾角 φ 的公式如下:

$$\varphi = \arctan \left(\frac{y_4 - y_1}{x_4 - x_1} \right) \quad (10)$$

2 示值识别

由于工业现场光照等环境因素的影响,所拍摄的图像必然会有较多的随机噪声,因而首先对示值区域进行中值滤波^[14],实验中使用的是 3*3 的滤波模板。

2.1 字符串定位

示值区域的定位结果不仅包含所需的字符串还有干扰区域,因此要将字符串单独提取出来,以便对其进行后续处理。分析字符的特点,可以发现其灰度值小,无论水平方向还是垂直方向,由背景进入字符串区域的交界处都是灰度累加值变化最剧烈的地方,而灰度投影的差分函数反映着灰度累加值的变化。因此,利用灰度投影的差分函数对字符串进行定位,灰度投影的差分函数定义为:

$$\begin{cases} D_h(y) = S_h(y+1) - S_h(y); y = 1 \\ D_h(y) = S_h(y+1) - S_h(y-1); 1 < y < H \\ D_h(y) = S_h(y) - S_h(y-1); y = H \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} D_v(x) = S_v(x+1) - S_v(x); x = 1 \\ D_v(x) = S_v(x+1) - S_v(x-1); 1 < x < W \\ D_v(x) = S_v(x) - S_v(x-1); x = W \end{cases} \quad (12)$$

其中 D_h 为水平投影 S_h 的差分函数, D_v 为垂直投影 S_v 的差分函数, W 和 H 分别为图像的宽度和高度。

在水平投影差分图像中确定字符串的上下边界,根据字符串的灰度特点及差分函数的定义,从 $y=1$ 沿递增方向寻找上边界时,要找负值小于某一阈值 $-T$ 的位置,而从 $y=H$ 沿递减方向寻找下边界时,要找正值大于某一阈值 T 的位置。同理在垂直投影差分图像中可找到字符串的左边界和右边界。经多次实验发现,阈值 $T=(max+min)/6$ 时,可以达到精确定位字符串的目的,其中 max 为图像灰度投影差分函数正的最大值, min 为负的最小值的绝对值。

2.2 字符边缘检测

为获取目标突出的字符边缘图像,需要对灰度图像进行分割,在目前众多的分割方法中,阈值分割无疑是一种简单且有效的方法,其实质是如何选取分割阈值^[15]。根据阈值求取方法的不同,图像二值化的方法分为全局二值化法和局部二值化法。全局二值化是对整幅图像求取一个阈值,用该阈值对图像进行分割,它处理速度快,但是由于使用单一阈值处理整幅图片,因此对于光照不均的情况适应性差。局部二值化是对图像的不同的区域选用不同的阈值进行分割的方法,分为自适应二值化和分块局部二值化。其中自适应二

值化是以图像中的点为处理对象,依据周围像素点对其的影响程度来计算阈值进而对该点进行二值化,它通常可以获得较好的二值图像,但存在计算量大、处理时间长的缺陷。分块局部二值化是将整幅图片分成若干块,对每块运用全局二值化的方法求取阈值,然后对该块进行处理,这种方法不仅对光照不均的图像处理效果较好,而且计算量较小,处理时间较短。

在工业现场实际拍摄的图像往往都会存在光照不均匀的现象,若使用全局二值化的方法获取字符边缘图像,则会出现部分字符边缘噪声过多且边缘粗细不同的情况。为避免此情况保证识别率,本文选用分块局部二值化的方法获取字符边缘图像,并使用 OTSU(最大类间方差法)算法求取每一块的阈值,它的适用性较好,所取阈值有助于图片分割质量的稳定性^[16]。如何进行合理的分块对分块局部二值化至关重要,若分块数太少,则不能保证区域内光照相对均匀,反之若分块数太多,则区域内图像灰度变化小,可能引入较多的噪声。对于字符串而言,其单个字符区域光照均匀性较好,因此可以将字符串按照字符的个数进行分块。由于不同的仪表其示值的位数各不相同,所以需在处理过程中自动的判断字符的个数,进行自适应的分块。统计测试图片中液晶板式字符的宽高比可以发现以下规律:字符宽度/字符高度 ≈ 0.7 ,其中小数点不占多余区域,在一个字符宽度内。结合字符高度及字符串的宽度计算出字符的个数,以此个数作为分块数进行局部二值化。图 3(a)中白色竖线为自动标记的分块线,图 3(b)为局部二值化结果。



(a) 字符区域分块标记 (b) 分块局部 OTSU 二值化结果

图 3 字符串分块局部二值化

2.3 字符串切分

所谓“字符串切分”就是把单个字符从字符串中分离出来。本文选用垂直投影法切分字符串,在垂直投影图中,有字符的地方投影较高,而字符中间没有白色像素点^[17],据此可以把每个字符的左右边界均找到。但是因为字符本身向右倾斜一定的角度且小数点均分布在相应字符的右底部,所以若使用常规的对整幅图像进行垂直投影,会出现小数点与相应字符发生粘连而切不开的问题。为避免此问题的发生,结合小数点

的位置特征,在字符串切分时只对字符串边缘图像的 $0 \sim 3H/4$ 进行垂直投影,因为小数点不包含在投影区域内,所以可以得到正确的切分结果。

2.4 字符识别

液晶仪表的显示字符是一种段式字符,字符中段的位置是固定的,只需知道待测字符段的组合方式就能够识别出各个字符,充分利用此特性,使用三线扫描法对字符进行识别,其扫描原理如图 4 所示,纵向一条轨迹 line3 处于字符宽度 w 的 $1/2$ 处,检测横三段 (f,g,c); 横向两条轨迹 line1 和 line2 分别在字符高度 h 的 $1/4$ 和 $3/4$ 处,检测纵四段(a,e;b,d)。在扫描时, line1 和 line2 沿 x 方向依次在 $0 \sim w/2$ 和 $w/2 \sim w$ 范围内搜索,若遇到白色像素点,则记下该区域相应段的标识。同理, line3 沿 y 方向搜索,搜索区间分别为 $0 \sim h/4$, $h/4 \sim 3h/4$ 和 $3h/4 \sim h$ 。每个字符所拥有的段的组合各不相同,扫描后统计记录的标识,就可以识别出各个字符。但是字符“1”和小数点不具有三线扫描法所识别字符的结构特点,需要对它们进行单独识别。由于字符串切分是按照从左到右的顺序进行的,因此切分结果的第一个位置一定是字符,而第二个位置一定是字符与字符之间的区域,以此类推字符只能出现在切分结果的奇数位上,若存在小数点则它只能出现在切分结果的偶数位上。依据此规律,在奇数位上只进行字符的检测,“1”与其它字符的区别在于其切分图像的宽高比较小;在偶数位上只进行小数点的检测,若偶数位切分图像的左下部存在白色像素,则说明存在小数点,因为所检测的字符无负数存在,所以本文用 -1 标识小数点。

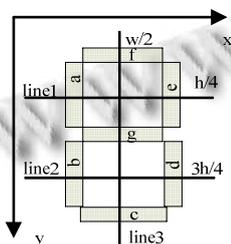


图 4 三线扫描图

2.5 字符组合

仪表示值的识别结果通常要参与各种数学运算,而在字符识别后其结果是以数字字符“0~9”以及“-1”的形式存储在数组中的,所以要将它组合成数值型数据^[18]。在组合过程中,首先必须确定字符识别结果中

是否存在小数点以及小数点的位置,进而根据十进制数的组成原则,给出识别结果。设字符数组为 $f(n)$, n 为数组中字符的个数,则数值型数据的表达式 Q 为:

$$Q = \begin{cases} \sum_{j=0}^{n-1} f(j) \times 10^{n-1-j}; & \text{不存在小数点} \\ \sum_{j=0}^{m-1} f(j) \times 10^{n-1-j} + \sum_{j=m+1}^{n-1} f(j) \times 10^{m-j}; & \text{存在小数点且在元数}(m)\text{中} \end{cases} \quad (13)$$

例如识别“0.026”时,数组 $f(n)$ 中包括 5 个元素,分别为 $f(0)=0, f(1)=-1, f(2)=0, f(3)=2, f(4)=6$, 遍历后发现小数点存在且位于元素 $f(1)$ 中,利用式(13)可以得到最终的识别结果:

$$Q = f(0) \times 10^0 + f(2) \times 10^1 + f(3) \times 10^2 + f(4) \times 10^3 = 0026$$

3 实验结果

以下实验结果是在 CPU 2GHz、内存 1G、Windows XP、MATLAB7.0 环境中得到的。

在示值区域定位时,针对示值框顶点分别利用 Harris 算法和本文所提算法对表盘图像进行检测,现给出三幅图像的实验结果,图 5 为 Harris 检测结果,图 6 为本文算法检测结果,图中黑点为标记出的角点。相应的角点数目和运行时间见表 1。



图 5 表盘图像 Harris 角点检测结果



图 6 表盘图像本文方法角点检测结果

表 1 两种算法的检测结果及运行时间比较

方法	圆形黄表		方形黄表		方形蓝表	
	数量	时间(s)	数量	时间(s)	数量	时间(s)
Harris 算法	3361	68.125	2427	64.391	1909	63.859
本文方法	10	36.219	10	47.828	13	28.406

对比图 5 和图 6 可以发现,两种方法均可以将示值框的四个顶点检测出来,然而 Harris 算法检测出的干扰角点数量较大,这是由于它无法在检测过程中根据实际需要只保留具有特殊位置关系的特征点,而是检测出图像中的所有角点,随着干扰角点数目的增多必然会加大四个顶点筛选的复杂性。分析表 1 中的数

据可以看出,本文所提算法的检测时间大约只有Harris算法的一半左右,这是因为Harris算法在检测时需要遍历整幅图像逐点判断,而本文算法只对满足条件的轮廓上的点进行检测.由此可见,本文所提算法在检测示值框四个顶点时,不但实时性及稳定性较强,而且能够简化示值框的定位过程.

为验证整个识别算法的性能,对现场采集的三种不同液晶显示热能表的200幅图片进行了测试,现给出一幅图片的测试结果如图7所示.图片的大小为1600*1200,总的测试结果见表2,总的定位率为100%,总的识别率为96.5%.识别错误的原因是光照条件很差导致字符串与背景的对比度太小,使字符串定位发生错误,无法进行字符识别.

表2 算法性能

表类型	个数	示值区域定位率(%)	总定位率(%)
圆形黄表	80	100	
方形黄表	60	98.33	99.5
方形蓝表	60	100	



图7 实验结果

4 结语

本文基于由点定框的思想,提出一种基于ACSS角点检测进行定位的液晶显示仪表表示值识别算法.在定位时,该算法根据ACSS角点检测原理和顶点的特殊位置关系设计出检测示值框顶点的方法,由于点特征适应性强,不随光照条件变化,所以它克服了光照条件差、背景较复杂的仪表难以定位的问题;在识别时,该方法利用自适应分块的局部二值化方法获取字符边缘图像,有效地避免了光照不均而造成字符边缘噪声过多难以识别的问题.经实验证明,本文所提算法能够对工业现场具有复杂背景的液晶仪表的示值进行识别,正确识别率达到96.5%.进一步还需要对字符串的定位算法进行完善,使其适用性更好,识别率更高.

参考文献

- 赵培英,段会川,李欣.基于Web Services的数字仪表监视系统设计.计算机系统应用,2005,14(10):69-71.
- 刘彦琴,刘翔宇,胡祥胜,董青讯,崔竟.基于图像识别的指针式温控仪智能检定系统.国外电子测量技术,2014,33(8):82-88.
- 申小阳,唐轶峻,姜柏军,朱文兰,隋成华.仪表的数字字符识别系统.仪表技术与传感器,2005(6):55-57.
- 李文博.一种基于SVM的数字仪表显示值识别方法.现代电子技术,2011,34(4):195-197.
- 谭义.机器视觉的数显仪表读数研究及应用.广州:广东工业大学,2007.
- 高晶,吴育峰,吴昆,孙继银.基于角点检测的图像匹配算法.仪器仪表学报,2013,34(8):1717-1725.
- Moravec H. Visual mapping by a robot rover. Proc. of the 6th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence. 1979. 599-601.
- Mokhtarian F, Mohanna F. Performance evaluation of corner detectors using consistency and accuracy measures. Computer Vision and Image Understanding, 2006, 102: 81-94.
- Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector. Proc. of the 4th Alvey Conference, Manchester, England, 1988. 147-151.
- He XC, Yung NHC. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support. Proc. Int. Conf. Pattern Recognition, 2004, (2): 791-794.
- 舒欣,李东新,薛东伟.五帧差分法和边缘检测的运动目标检测.计算机系统应用,2014,23(1):124-127.
- Mokhtarian F, Mackworth AK. A theory of multi-scale, curvature-based shape representation for planar curves. IEEE Trans. on pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(8): 789-805.
- 项新建,楼天良.基于神经网络技术的电能表示值提取方法研究.仪器仪表学报,2002,23(Z2):662-663.
- 龚成清.一种简单快速的车牌定位算法.计算机系统应用,2011,20(9):214-217,233.
- 吴一全,樊军,吴诗娅.改进的二维Otsu法阈值分割快速迭代算法.电子测量与仪器学报,2011,25(3):218-225.
- 查方龙,张定华,黄魁东,张亮,李明君.基于预分割轮廓的CT图像亚像素表面检测方法.仪器仪表学报,2012,33(6):1308-1314.
- 洗允廷,路小波,施毅,钟琨.基于投影二分法的车牌字符分割方法.交通与计算机,2007,25(5):69-72.
- 张艳玲,汪仁煌,宁志刚,黄挺.彩色数字仪表表盘读数的自动识别系统.计算机测量与控制,2007,15(4):555-557.