

光照不均图像的自适应加权均值算法

黄丹平^{1,2}, 李静¹, 于少东¹, 田建平¹, 胡勇¹, 林海波^{1,2}

1. 四川理工学院机械工程学院, 自贡 643000
2. 过程装备与控制工程四川省高校重点实验室, 自贡 643000

摘要 在结合矩形框加权均值算法的基础上, 提出一种对光照不均图像进行二值化处理的自适应加权均值算法。对流量计图像中每个像素点分别计算阈值, 利用和值表及自适应计算调整参数 t , 可有效地避免光照不均的影响, 减少程序计算量, 增强阈值自适应能力, 提高流量检测速度及图像二值化处理效果。结果显示, 在C++环境下, 分别运用自适应加权均值算法和传统的基于小波包及Niblack算法, 对所采集的同一幅流量计光照不均图像进行二值化处理, 自适应加权均值算法用时 1.6 ms, 基于小波包及Niblack算法用时 9.3 ms, 且自适应加权均值算法处理效果明显优于传统算法。

关键词 光照不均图像; 自适应加权均值算法; 二值化处理

中图分类号 TH7

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.08.014

A daptive weighted mean algorithm for uneven illuminated image

HUANG Danping^{1,2}, LI Jing¹, YU Shaodong¹, TIAN Jianping¹, HU Yong¹, LIN Haibo^{1,2}

1. Institute of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China
2. Sichuan Provincial Key Lab of Process Equipment and Control, Zigong 643000, China

Abstract In order to obtain the field flowmeter data that can not be transmitted as electrical signals automatically, the binarization is necessary. The current method can not eliminate the influence of the uneven illumination in processing the flowmeter data. Therefore, an improved weighted average algorithm combined with a rectangular box is put forward. The method of the summed-area table is used to calculate the sum of the gray values in each rectangular area of the flowmeter image, which reduces the running time effectively. Meanwhile, the method of the class space combined with the cohesion is applied to automatically adjust the parameters. With the C++ programming and the method, the image processing time is 1.6 ms. For the same image, the image processing time by the Wavelet Packet and the Niblack Method is 9.3 ms. Therefore, the image processing speed is significantly improved by the method. The experiments show that the binarization of the unevenly illuminated image is improved with the method and a better image is obtained from the flowmeter data. Hence, the accuracy of the flowmeter is improved.

Keywords uneven illumination image; adaptive weighted mean algorithm; two value processing

在工业自动化生产中, 对流量的自动检测^[1,2], 有利于实现快速、有效、安全、优质的生产。工业生产中, 对于不能进行远距离数据传递的流量计, 当读取其生产现场数据时, 首先需要对采集到的流量计图像进行二值化处理。工业现场

采集到的流量计图像, 由于受到光照角度和强度变化的影响, 易出现流量计图像光照不均的现象。如何克服光照不均对图像信息的影响和应用适当的自适应二值化算法对所采集到的流量计图像进行处理, 是准确得到流体流量数据的关键。

收稿日期: 2014-08-11; 修回日期: 2015-03-08

基金项目: 过程装备与控制工程四川省高校重点实验室项目(GKZY201102, GK201209); 人工智能四川省重点实验室项目(2013RYY03); 四川理工学院校内科研项目(2010XJKRL011)

作者简介: 黄丹平, 副教授, 研究方向为测控技术, 电子信箱: hdpix2002@163.com; 李静(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为机器视觉, 电子信箱: lijingyx163@163.com

引用格式: 黄丹平, 李静, 于少东, 等. 光照不均图像的自适应加权均值算法[J]. 科技导报, 2015, 33(8): 84-88.

键因素之一。全局二值化方法^[3,4],对整幅图像求取单一阈值,具有处理速度快的特点,但不能对流量计光照不均图像进行正确的二值化处理。相对于全局二值化方法,分块二值化方法^[5,6]得到的二值化图像较好,但仍然无法清晰地显示出流量计,并且会出现分块效应,也不适合处理流量计光照不均图像。为克服光照不均现象,Wellner提出一种以图像中任意一点为中心点,利用其周围像素点计算加权均值的方法^[7]求取阈值,再利用阈值得到二值化图像,具有较好的效果,但存在大量噪声。Bradley等^[8]在Wellner方法基础上提出利用矩形区域计算阈值的方法,能够减少程序运算量,提高运算速度。本文在传统的结合矩形框加权均值算法的基础上,通过改进提出一种对光照不均图像进行二值化处理的自适应加权均值算法。

1 自适应加权均值算法

1.1 基本原理及流程

计算流量计图像中任意一点的阈值时,考虑距离中心点 $P(x, y)$ 越近,像素点对阈值影响越大的因素,可采用加权均值算法。若以采集图像中任意一点为中心点 $P(x, y)$,将 $P(x, y)$ 点周围每一像素点分别乘以相应权重后,再进行累加计算求中心点加权均值,该算法计算量巨大。因此,本文采用改进的结合矩形框加权均值算法减少计算量,提高运算速度。

为定义矩形框,首先设水平或垂直方向上相邻像素点的距离为1。如图1所示, F_1, F_2, \dots, F_d 分别表示边长由小到大不同的矩形框。该矩形框组的中心点为 $P(x, y)$ 点,并且设 $P(x, y)$ 点到每个矩形框边界的距离分别为 $1, 2, \dots, d$ 。每个矩形框内的像素点与其他矩形框内像素点没有交集,以此划分成不同的矩形框区域,图1中不同颜色表示不同大小的矩形框,距离中心点 $P(x, y)$ 越近的矩形框颜色越深。 $D_i(x, y)$ 表示矩形框 F_i 内所有像素点灰度值之和,其中 i 为 $1 \sim d$ 。

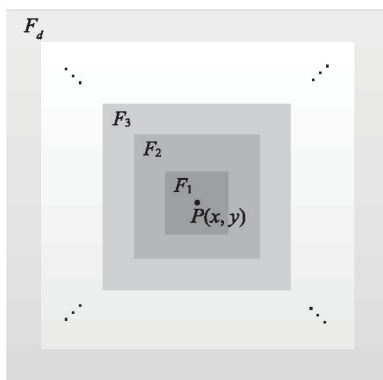


图1 至中心点 $P(x, y)$ 距离不同的矩形框

Fig. 1 Rectangular box of different distances from the center point $P(x, y)$

矩形框边界至中心点 $P(x, y)$ 距离越近,距离 i 的值越小,对中心点 $P(x, y)$ 影响越大,该矩形框权重越大^[9-11]。取 i 的倒

数 $1/i$ 作为 $D_i(x, y)$ 的权重,能够满足距离越小权重越大的要求,且 $D_i(x, y)$ 中像素点个数为 $8i$ 。

采用结合矩形框的加权均值算法,计算点 $P(x, y)$ 的加权均值 $T(x, y)$,计算公式为

$$T(x, y) = \frac{f(x, y) + \sum_{i=1}^d D_i(x, y)/i}{1 + \sum_{i=1}^d 8i/i} = \frac{f(x, y) + \sum_{i=1}^d D_i(x, y)/i}{1 + 8d} \quad (1)$$

计算加权均值时,中心点 $P(x, y)$ 也应包含在式(1)中,该点灰度值为 $f(x, y)$,权重为1。式(1)中将每个矩形框的灰度值之和 $D_i(x, y)$ 乘以相应的权重 $1/i$,然后将其进行累加求和得到总体值,加上中心点灰度值与权重1的积,再除以相应的权重之和。

图像二值化后包含背景和目标两部分,当图像中某个目标连通区域能够将最大的矩形框 F_d 完全覆盖时,该目标连通区域内可能有部分像素点会被误判为背景。此时,可通过增大 d 值,消除对图像信息的误判。但 d 取值过大,会减弱细节分割效果,丢失边缘细节。因此,可根据连通区域大小及边缘细节复杂情况确定 d 值。在工业现场采集的流量计图像,是由固定安装的摄像机进行采集,仅浮子位置及光照发生改变,而连通区域大小及其边缘细节复杂情况变化较小,因此对于工业现场采集到的流量计图像, d 值可以是固定的。经大量试验验证,当本文所采集的流量计图像尺寸为 $M \times N$ 时,若 d 取值为 $(1/10) \times \min(M, N)$,其分割效果最佳。

流量计中刻度线的灰度值与周围像素点相比会小很多,因此使用加权均值作为阈值,可有效克服光照影响,准确分割出流量计的刻度线,从而能够提高流量检测精度。流量计图像的二值化公式为

$$K(x, y) = \begin{cases} 0 & f(x, y) < T(x, y) \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

当中心点 $P(x, y)$ 像素值 $f(x, y)$ 小于阈值 $T(x, y)$ 时,返回0,二值化后为黑色;反之,返回1,二值化后为白色。

自适应加权均值算法流程如图2所示。首先计算和值表,第2步求解矩形区域灰度值之和,前两步目的是减少计算

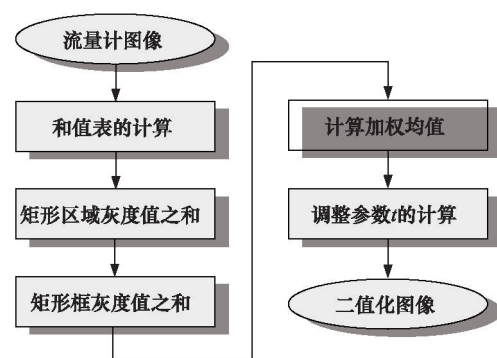


图2 改进的结合矩形框加权均值算法流程

Fig. 2 Flow chart of weighted average algorithm combined with rectangular box

量,并为第3步求取矩形框灰度值之和做准备。第3步完成矩形框灰度值之和的计算后,采用结合矩形框的加权均值算法,计算第4步加权均值。第5步,自适应计算调整参数 t ,对阈值进行整体修正。最终得到二值化图像。

1.2 矩形框灰度值之和的计算

采用直接把矩形框内每个像素点灰度值相加的方法,计算矩形框内像素点灰度值之和,计算量较大。为减少计算量,采用和值表求矩形框内像素点灰度值之和。

1.2.1 和值表

首先,需要将流量计图像制作成和值表,和值表与流量计图像尺寸相同。和值表中任意一点 $I(x, y)$ 含义为:流量计图像中像素点 $P(x, y)$ 与流量计图像左边界及上边界构成的矩形区域,如图3中的灰色部分,该矩形区域内所有像素点的灰度值之和为和值表中 $I(x, y)$ 的值。

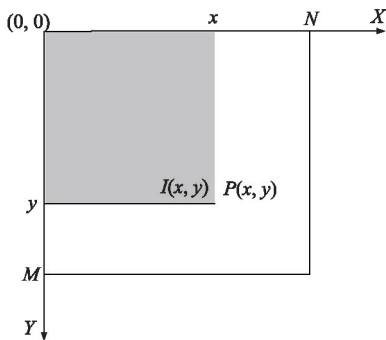


图3 和值表中任意一点 $I(x,y)$ 的含义

Fig. 3 Definition of any point $I(x,y)$ in the sum table

$I(x, y)$ 的计算公式为

$$I(x, y) = f(x, y) + I(x-1, y) + I(x, y-1) - I(x-1, y-1) \quad (3)$$

式中, $f(x, y)$ 为流量计图像中点 $P(x, y)$ 的灰度值; $I(x-1, y)$ 、 $I(x, y-1)$ 、 $I(x-1, y-1)$ 分别为和值表中相应位置的值。和值表实例如图4所示。图4(a)为一个简单的输入图像,图4(b)为图4(a)根据式(3)计算出的和值表。

2	1	4	0
1	3	2	1
4	0	3	2
3	1	4	0

2	3	7	7
3	7	13	14
7	11	20	23
10	15	28	31

(a) 一个简单的输入图像

(b) 左图的和值表

图4 和值表实例

Fig. 4 Sum value table instance

1.2.2 矩形区域灰度值之和

利用和值表的方法求矩形框灰度值之和,得到流量计图像的和值表后,还需要计算矩形区域灰度值之和。计算流量计图像中任意位置、任意大小的矩形区域灰度值之和,只需

要在和值表中查找该矩形区域4个顶点位置的值,再将其进行简单的加减运算,就可以得到该矩形区域灰度值之和。

如图5所示,在流量计图像中,以任意一点 $P(x, y)$ 为中心点,在 x 轴及 y 轴方向上距离均为 r 的矩形区域为灰色矩形区域,其灰度值之和 $S_i(x, y)$ 的计算公式为

$$S_i(x, y) = \sum_{i=x-r}^{x+r} \sum_{j=y-r}^{y+r} f(i, j) = I(x+r, y+r) - I(x-r, y+r) - I(x+r, y-r) + I(x-r, y-r) \quad (4)$$

式中, $I(x+r, y+r)$ 、 $I(x-r, y+r)$ 、 $I(x+r, y-r)$ 、 $I(x-r, y-r)$ 分别为和值表中相应位置的值。采用此方法计算矩形区域灰度值之和与直接将每个像素点灰度值相加方法相比,计算量大为减小,为后续矩形框灰度值之和的计算做好准备。

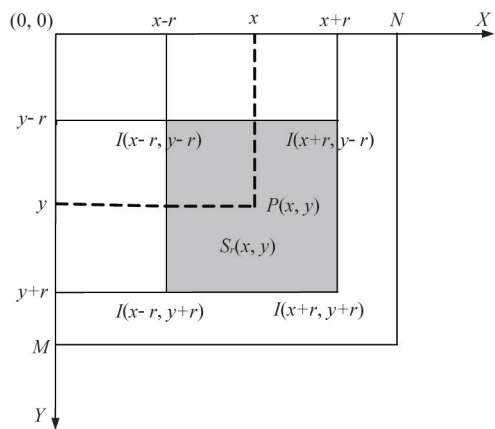


图5 流量计图像中任意矩形区域灰度值之和

Fig. 5 Gray value summation of any rectangular area in flowmeter image

当图像边界到中心点 $P(x, y)$ 的距离小于 r 时,式(4)不能计算 $S_i(x, y)$ 。此时,取实际矩形区域中含有的像素点,计算像素点数目和 $S_i(x, y)$ 值。

1.2.3 矩形框灰度值之和

获得矩形区域灰度值之和后,可计算矩形框灰度值之和。其计算方法如式(5)所示,将两个相应的矩形区域灰度值之和相减,即可得到矩形框灰度值之和 $D_i(x, y)$,即

$$D_i(x, y) = S_i(x, y) - S_{i-1}(x, y) \quad (5)$$

式中, $S_i(x, y)$ 是以 $P(x, y)$ 为中心点、边长为 $2i$ 的矩形区域内所有像素点灰度值之和; $S_{i-1}(x, y)$ 是以 $P(x, y)$ 为中心点、边长为 $2(i-1)$ 的矩形区域内所有像素点灰度值之和。

利用和值表求矩形框灰度值之和的算法,需要对图像进行两次处理,如第1.2.2节所述该算法计算量小,程序运行时间短。

1.3 参数 t 的调整

采用加权均值方法计算阈值时,会出现阈值比所需阈值整体略微偏大或偏小,Wellner提出采用调整参数 t 对阈值进行整体调整,给出经验值 $t=15$,但该经验值并不适用于所有图像。因此本文对调整参数 t 的计算加以改进,即采用类间

距离结合内聚性自适应计算调整参数 t 的方法,使二值化图像更准确。增加调整参数 t 后的二值化公式为

$$K(x, y) = \begin{cases} 0 & f(x, y) < T(x, y) \left(\frac{100+t}{100} \right) \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

当采用加权均值 $T(x, y)$ 计算时,该阈值与所需阈值之间误差较小,所以调整参数 t 的取值范围不宜过大,综合考虑二值化效果及程序运行速度等因素, t 取 -10~10 之间的整数。将 t 值代入式(6)得到 21 幅二值化图像 $K_j(x, y)$, j 取 1~21, 然后采用类间距离结合内聚性算法,确定 t 的最佳值,得到二值化效果最好的图像。

类间距离指背景与目标之间的灰度差异,而最大类间距离^[12,13]能够实现背景与目标的分离。内聚性指背景或目标内部灰度值变化的剧烈程度,内聚性越小像素点被误判的可能性越小。类间距离结合内聚性的算法,能够改善流量计图像二值化处理效果。

1.3.1 类间距离

当目标中的某些点被误判为背景,或背景中的某些点被误判为目标时,都会导致类间距离变小。因此,最大类间距离可使误判概率最小。

对于一幅尺寸为 $M \times N$ 的二值化图像 $K(x, y)$, 记 $K(x, y)=0$ 的像素点数目为 n_0 , 所有 $K(x, y)=0$ 的像素点灰度值之和为 s_0 ; $K(x, y)=1$ 的像素点数目为 n_1 , 所有 $K(x, y)=1$ 的像素点灰度值之和为 s_1 。将灰度值之和除以像素点数目,可得灰度均值。 $K(x, y)=0$ 的像素点灰度均值 $u_0=s_0/n_0$; $K(x, y)=1$ 的像素点灰度均值 $u_1=s_1/n_1$; 图像的总灰度均值 $u=I(M, N)/(MN)$ 。类间距离的计算公式为

$$\delta_{bj} = \frac{n_0(u_0 - u)^2 + n_1(u_1 - u)^2}{MN} \quad (7)$$

j 取不同值时,得到不同的类间距离 δ_{bj} , 其中最大的 δ_{bj} 为最大类间距。使用最大类间距可实现背景和目标的最优分离,得到较好的二值化效果。

1.3.2 内聚性

如果一个区域内有几个灰度值极大的脉冲噪声点,则会使整个区域灰度值之和增高,导致阈值过大。因此,引入内聚性的概念,使分割后的图像背景及目标中分别具有较低空间方差特性,内聚性较好,能够避免干扰强度较大的脉冲噪声影响。

在一幅二值化图像 $K(x, y)$ 中,按照由上到下、从左到右的顺序,记 $K(x, y)=0$ 的像素点灰度值为 $f_{q_0}(x, y)$, 其中 q_0 取 1~ n_0 ; $K(x, y)=1$ 的像素点灰度值为 $f_{q_1}(x, y)$, 其中 q_1 取 1~ n_1 。内聚性的计算公式为

$$\delta_{wj} = \sum_{q_0=1}^{n_0} (f_{q_0}(x, y) - u_0)^2 + \sum_{q_1=1}^{n_1} (f_{q_1}(x, y) - u_1)^2 \quad (8)$$

在 j 取不同值时,可得到不同的 δ_{wj} 。其中最小的 δ_{wj} , 内聚性较好,能够避免较强脉冲噪声对阈值影响,正确地进行二值化。

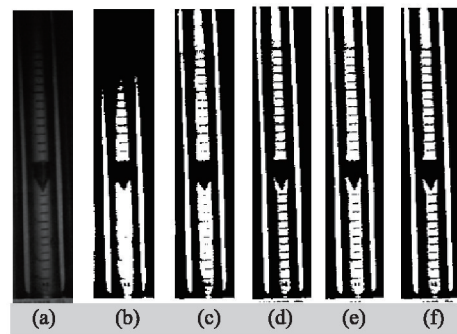
综合以上类间距离和内聚性的原理,采用类间距离结合内聚性的算法计算调整参数 t , 计算式为

$$\varphi_j = \delta_{bj} / \delta_{wj} \quad (9)$$

式中,分子 δ_{bj} 越大,类间距离越大,背景及目标分离效果越好;分母 δ_{wj} 越小,内聚性较好,能够更有效避免恶性脉冲噪声影响。因此, φ_j 取最大值时既可保证背景与目标的最大类间距离,又可满足背景与目标的内聚性要求。采用 φ_j 作为参数 t 的判别标准,二值化图像使后续数据处理较容易,从而提高流量测量自适应能力和数据精确度。

2 实验结果

实验的硬件条件为 2G 内存、Intel-I5 CPU, 软件环境为 XP 操作系统,所用编程语言为 C++。实验图像为一幅尺寸为 640 mm×480 mm 的流量计图像,将背景剪切后为 69 mm×453 mm, 该图像是从工业现场采集到的流量计光照不均图像,受到不同方向的光照不均影响,图像上方偏暗、下方较亮,如图 6(a)所示。



(a) 原图; (b) 全局阈值算法; (c) 分块阈值算法; (d) 基于小波包及 Niblack 算法; (e) 未添加自适应调整参数算法; (f) 本文算法

图 6 不同二值化方法处理效果

Fig. 6 Binarization results using different methods

运用不同方法对流量计光照不均图像进行二值化处理,结果如图 6(b)~(f)所示。图 6(b)是运用经典的全局阈值 Otsu 算法进行二值化处理的图像,光照较暗区域仍然被大面积阴影遮蔽,光照较亮区域没有清晰显示出流量计的刻度尺。图 6(c)是运用基于 Otsu 的分块阈值算法进行二值化处理的图像,其中,根据阴影位置的不同按行划分区域,再将每块区域分别运用 Otsu 算法计算阈值,二值化效果优于图 6(b),但流量计的刻度线仍然不清晰,并且出现分块效应。图 6(d)是由基于小波包及 Niblack 算法^[14,15]得到的二值化图像,图 6(e)是由未添加自适应调整参数的式(2)计算得出的二值化图像,图 6(f)是本文自适应加权均值算法添加了自适应调整参数 t 的式(6)得到的二值化图像。可以看出,图 6(d)与图 6(f)的二值化效果较好,能够将刻度尺中所有的刻度线完整地显示出来,与其他算法相比刻度线较清晰。图 6(e)光照较暗部分没有被阴影遮蔽,而且能够比较清晰地显示出流量计

的刻度尺;光照较强部分,流量计的刻度尺相比前两种算法较清晰,但仍然有部分刻度线不能完整地显示出来。图6(f)通过自适应计算调整参数对阈值进行整体修正,与图6(e)相比刻度线更加清晰。

运用本文自适应加权均值算法该图像进行二值化处理所需时间为1.6 ms,对同一幅图像,运用基于小波包及Niblack算法进行二值化处理耗时9.3 ms。

综上所述,与未添加自适应调整参数算法相比,运用本文自适应加权均值算法得到的二值化图像的二值化效果更好。与基于小波包和Niblack算法相比,本文算法的二值化效果无明显优势,但运算速度提高近6倍,有利于流体流量的实时检测。

3 结论

本文提出的自适应加权均值算法,利用和值表计算矩形框灰度值之和,减小计算量,提高了流量检测的速度;利用类间距离结合内聚性方法,对阈值进行自适应整体修正,避免阈值整体过大或过小,改善了流量计图像二值化的处理效果。通过实验测试,本文算法与传统方法相比较,有效地克服了光照不均影响,将流量计的刻度线准确地分割出来,提高了流量检测精度。本文算法对其他机器视觉测试系统也有参考价值。

参考文献(References)

- [1] 李忠柱,吕颖超,黄志尧,等.基于C⁴D技术的小通道流体流量测量装置及方法[J].工程热物理学报,2013,34(9):1679-1682.
Li Zhongzhu, Lü Yingchao, Huang Zhiyao, et al. A device and method for flowrate measurement of fluid in small channel based on C⁴D technique [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2013,34(9):1679-1682.
- [2] 李勇,雷晶.汽轮机凝汽器冷却水流量的在线测量方法研究[J].仪器仪表学报,2010,31(6):1347-1351.
Li Yong, Lei Jing. Research on the online monitoring method for flow rate of cooling water in condenser of steam turbine[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(6): 1347-1351.
- [3] 陆培源,王建中,罗涛.基于改进Otsu的室外道路实时检测与跟踪算法[J].科技导报,2011,32(8):58-62.
Lu Peiyuan, Wang Jianzhong, Luo Tao. Real-time detection and tracking of road information for outdoor vision-based robot based on improved Otsu [J]. Science & Technology Review, 2011, 32(8): 58-62.
- [4] Veenman C J, Reinders M J T, Backer E. A maximum variance cluster algorithm[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 2002, 24(9): 1273-1280.
- [5] Tan K T, Chai D, Kato H, et al. Designing a color barcode for mobile applications[J]. IEEE Pervasive Computing, 2010 (2): 50-55.
- [6] 唐泉,樊晓平,黎燕.基于分块聚类的车牌图像二值化方法[J].计算机仿真,2010,27(3):286-289,352.
Tang Quan, Fan Xiaoping, Li Yan. Binary method of license plate image based on blocking-clustering[J]. Computer Simulation, 2010, 27 (3): 286-289, 352.
- [7] Technical Report EPCWellner P D. Adaptive thresholding for the digital desk[R]. EPC1993-110. Connecticut: Xerox, 1993.
- [8] Bradley D, Roth G. Adaptive thresholding using the integral image[J]. Journal of Graphics, Gpu, and Game tools, 2007, 12(2): 13-21.
- [9] 杨吉宏,胡顺波,张民,等.灰度图像加权有向平滑滤波算法[J].计算机工程与设计,2010,31(1):153-156.
Yang Jihong, Hu Shunbo, Zhang Min, et al. Weighted and directional smoothing algorithm for gradation images[J]. Computer Engineering and Design, 2010, 31(1): 153-156.
- [10] 皋军,黄丽莉,孙长银.一种基于局部加权均值的领域适应学习框架[J].自动化学报,2013,32(7):1037-1052.
Gao Jun, Huang Lili, Sun Changyin. A local weighted mean based domain adaptation learning framework[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 32(7): 1037-1052.
- [11] 张洁玉,赵鸿萍,陈曙.自适应阈值及加权局部二值模式的人脸识别[J].电子与信息学报,2014,36(6):1327-1333.
Zhang Jieyu, Zhao Hongping, Chen Shu. Face recognition based on weighted local binary pattern with adaptive threshold[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2014, 36(6): 1327-1333.
- [12] 木拉提·哈密提,周晶晶,严传波,等.新疆地方性肝包虫CT图像的灰度直方图特征提取与分析[J].科技导报,2012,33(6):66-70.
Hamit Murat, Zhou Jingjing, Yan Chuanbo, et al. Feature extraction and analysis on CT image of xinjiang local liver hydatid by using gray-scale histograms[J]. Science & Technology Review, 2012, 33(6): 66-70.
- [13] 吕行军,韩宪忠,王克俭,等.基于最大方差阈值法的火车票图像二值化处理[J].计算机应用与软件,2012,29(7):249-253.
Lü Xingjun, Han Xianzhong, Wang Kejian, et al. Binarisation processing of train ticket images based on maximum variance threshold algorithm [J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(7): 249-253.
- [14] 申森,李艾华,姚良,等.基于小波包和Niblack法的枪号图像二值化算法[J].光子学报,2013,42(3):354-358.
Shen Sen, Li Aihua, Yao Liang, et al. Gun code binary image algorithm based on wavelet packet and Niblack method[J]. Acta Photonica Sinica, 2013, 42(3): 354-358.
- [15] 高美琴,毋立芳,李建德,等.利用纹理相关性对OCT影像进行血管分割[J].信号处理,2013,29(4):527-531.
Gao Meiqin, Wu Lifang, Li Jiande, et al. Essel border segmentation of oct image using textural correlation[J]. Journal of Signal Processing, 2013, 29(4): 527-531.

(责任编辑 韩晓明)

《科技导报》“学术争鸣”栏目征稿

“学术争鸣”栏目旨在活跃学术气氛,开展学术讨论,促进学科的深入研究。本栏目欢迎对已发表的学术观点进行质疑,也欢迎广大作者对各领域的科技问题进行开创性的学术探索。在线投稿:www.kjdb.org。