

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.06.002

自适应粒子群集优化二维 OSTU 的图像 阈值分割算法*

于洋¹ 孔琳¹ 虞闯²

(1. 沈阳理工大学 自动化与电气工程学院 沈阳 110159; 2. 沈阳理工大学 信息科学与工程学院 沈阳 110159)

摘要:为了解决红外相机采集行人图片时图像分割效果问题,提出一种自适应粒子群优化二维 OSTU 的阈值分割算法。利用当前帧图像的灰度级和当前帧图像像素的邻域灰度级构成二元组,通过计算二者的均值和方差,建立二维最大类间方差模型,结合自适应粒子群集算法,估计出图像的最佳阈值,该方法不仅能够准确估计阈值且计算时间减少。仿真结果表明,阈值最佳时,当结合自适应粒子群集优化算法后计算时间减少到原来的 50%,所提出的算法能够快速准确得到最佳阈值,提高了图像预处理的分割效果。

关键词: 自适应粒子群优化;二维 OSTU 阈值;图像预处理;阈值分割

中图分类号: TP391.41;TN911.73 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1060

Image threshold segmentation algorithm based on adaptive particle swarm optimization of two-dimensional OSTU

Yu Yang¹ Kong Lin¹ Yu Chuang²

(1. School of Automation and Electrical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China;
2. School of Information Science and Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: In order to solve the effect of the image segmentation when the pedestrian image is collected by infrared camera, an image threshold segmentation algorithm based on adaptive particle swarm optimization of two-dimensional OSTU is utilized. The gray scale of the current frame image and the neighborhood gray level of the current frame image pixel form a binary image. A 2D maximum between-cluster variance model is built up through calculating the average and variance between them, and combining with adaptive particle swarm optimization algorithm the best threshold image value is estimated. The algorithm can accurately estimate the threshold and reduce the calculation time. The simulation results demonstrate that the best image value is proper, the calculation time is shortened 50% when combine with adaptive particle swarm optimization algorithm. The proposed algorithm can get the optimal threshold quickly and accurately, and improve the segmentation effect of image preprocessing.

Keywords: adaptive particle swarm optimization; 2D OSTU threshold; image preprocessing; threshold segmentation

1 引言

远红外探测器^[1]采集的红外图像是利用不同物体辐射红外强度的大小形成的图像,通过红外图像场景中物体表面温度的分布进行图像分割。通常情况下,行人目

标的温度高于周围目标物体的温度,因此,在红外图像场景中行人目标的亮度要高于周围目标物体的亮度,基于上述原理,在图像预处理^[2-5]的部分提出图像阈值分割方法。

目前,阈值分割方法的种类繁多,其中重要部分是阈值大小的确定,Xu 等人^[6]对输入图像均衡化的灰度直方

图提取阈值。云挺进等人^[7]采用灰度直方图进行 K-均值聚类,该方法就是对灰度直方图进行聚类线性划分,通过分析判断聚类中心的走向从而进行动态阈值分割。Liu 等人^[8]提出模糊 C 均值算法,该方法利用聚类后的灰度直方图来确定阈值。天津提出的 OSTU 阈值分割方法,该方法通过划分直方图来计算直方图像素的最大类间方差从而确定阈值^[5]。其次重要的是阈值个数的确定,Sezgin 等人提出一种自适应局部双阈值的分割方法,该方法通过计算灰度级确定阈值,回归比较阈值分类成前景和背景,从而获得的分割效果较好^[9]。Ge 等人在文献^[5]的基础上通过利用水平线邻域像素的灰度像素得到两个阈值,解决亮度不均匀的情况下目标识别的问题^[10]。Adiljan 等人^[11]提出了基于最大熵的阈值分割算法,该方法通过搜索不同的熵值确定目标区域^[12-13]。在计算阈值时,为了获得更好的阈值,通常结合优化算法,例如 Kennedy 和 Eberhart 提出粒子群集算法(PSO),通过对鸟群捕食行为的研究而得出的优化算法,其应用神经网络、函数优化等领域较为广泛^[14]。Karaboga^[15]提出的人工蜂群优化算法(ABCO),通过研究蜂群采蜜行为从而得出的算法,其全局搜索能力较强,因此,该方法被研究者们广泛关注并应用到优化问题中。韩江洪等人^[16]在粒子群集算法的基础上提出了一种自适应粒子群集优化算法(APSO),大大提高了计算时间。

通过上述方法的介绍,本文在文献^[7]的一维 OSTU 阈值分割基础上推广到二维 OSTU 阈值分割^[17],实现自适应双阈值分割,再结合文献^[8]采用的 APSO 优化算法,提出自适应粒子群集优化二维 OSTU 阈值的分割算法,该方法使得到的阈值更加稳定,并且图像分割效果更佳显著,同时减少了计算时间。实验结果表明,该算法应用在红外行人图像分割时得到了较好的效果。

2 OSTU 阈值分割

2.1 一维 OSTU 阈值分割

基于阈值分割的方法是通过阈值将图像分为前景和背景两类,分别计算出两类的均值和方差,求出类间方差,其最大值为最佳的阈值。

设一幅具有 L 灰度级的图像,图像中总像素个数为 N ,灰度像素个数为 N_i ,每个灰度级 i 出现的概率为:

$$P_i = \frac{N_i}{N}, P_i \geq 0, \sum_{i=0}^{L-1} P_i = 1 \quad (1)$$

假设阈值为 K 将图像分为前景 A 类和背景 B 类,令 K 在 $1 \sim L$ 中变化,计算不同的 K 值时,类间方差 $\sigma^2(K)$ 的值,使 $\sigma^2(K)$ 值最大的 K 值就是所求的最优阈值,即:

$$K = \text{Argmax}\{\sigma_k^2(K)\} \quad 0 \leq K < L \quad (2)$$

2.2 二维 OSTU 阈值分割

在一维的 OSTU 阈值分割基础上推广到二维 OSTU 阈值分割^[11],则设一幅图像有 L 灰度级,其像素的邻域平均灰度也分为 L 级,其图像的总灰度像素为 N ,则像素二元组 (i, j) 出现的频率数为 f_{ij} ,其联合概率密度函数:

$$p_{ij} = f_{ij}/N \quad i, j = 1, 2, \dots, L \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L p_{ij} = 1 \quad (4)$$

假设阈值为 (s, t) 将二维直方图分为前景 A 类和背景 B 类两类,则两类的概率为:

$$w_A = p_r(A) = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p_{ij} = w_A(s, t) \quad (5)$$

$$w_B = p_r(B) = \sum_{i=s+1}^L \sum_{j=t+1}^L p_{ij} = w_B(s, t) \quad (6)$$

均值为:

$$\begin{aligned} \mu_A &= (\mu_{Ai}, \mu_{Aj})^T = \left(\sum_{i=1}^s i P_r(i/A), \sum_{j=1}^t j P_r(i/A) \right)^T = \\ &= \left(\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t i p_{ij}/w_A, \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t j p_{ij}/w_A \right)^T \end{aligned} \quad (7)$$

$$\mu_i(s, t) = \sum_{i=1}^s i/w_A, \mu_j(s, t) = \sum_{j=1}^t j/w_A \quad (8)$$

$$\mu_A = (\mu_i(s, t)/w_A(s, t), \mu_j(s, t)/w_A(s, t))^T \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \mu_B &= (\mu_{Bi}, \mu_{Bj})^T = \left(\sum_{i=s+1}^L i p_r(i/B), \sum_{j=t+1}^L j p_r(j/B) \right)^T = \\ &= \left(\sum_{i=s+1}^L \sum_{j=t+1}^L i p_{ij}/w_B, \sum_{i=s+1}^L \sum_{j=t+1}^L j p_{ij}/w_B \right)^T \end{aligned} \quad (10)$$

二维总平均灰度值为:

$$\mu_T = (\mu_{Ti}, \mu_{Tj})^T = \left(\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L i p_{ij}, \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L j p_{ij} \right)^T \quad (11)$$

由此则得出:

$$w_A + w_B = 1, \mu_T = w_A \mu_A + w_B \mu_B \quad (12)$$

最后,定义类间的离散度矩阵:

$$s_B = \sum_{k=0}^1 p_r(C_k) [(\mu_k - \mu_T)(\mu_k - \mu_T)^T] \quad (13)$$

其中, C_k 为 A 类或者 B 类。则 s_B 为类间的离散度测度,可以推出:

$$\begin{aligned} t_r s_B &= w_A [(\mu_{Ai} - \mu_{Ti})^2 + (\mu_{Aj} - \mu_{Tj})^2] + \\ &= w_B [(\mu_{Bi} - \mu_{Ti})^2 + (\mu_{Bj} - \mu_{Tj})^2] \end{aligned} \quad (14)$$

令二元组 (s, t) 各个变量在 $1 \sim L$ 中变化,计算不同的二元组 (s, t) 时,找出类间方差 $t_r s_B(s, t)$ 最大值,满足最大值的二元组 (s', t') 就是最优阈值,即:

$$t_r s_B(s', t') = \max_{1 \leq s, t < L} \{t_r s_B(s, t)\} \quad (15)$$

3 APSO 优化二维 OSTU 阈值分割方法

为了解决 PSO 算法结合二维 OSTU 阈值分割方法中参数不稳定的问题,提出了 APSO 算法结合二维 OSTU 阈值分割方法。

设粒子 p_i 在一个 N 维空间有自己的 N 维速度矢量 $V_i = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_N)$, 以及其 N 维位置矢量 $X_i = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$, 则粒子 p_i 通过二维 OSTU 的阈值准则函数作为一个目标函数来确定自己的适应值 f_i , 并且找到粒子本身最好的位置和现在的位置 X_i , 即个体极值 $pbest_i$; 除此之外, 再找到整个粒子群中粒子最好的位置, 即全局极值 $gbest_i$; 通过迭代, 跟踪和更新个体极值和全局极值的速度和位置最终找到最优解。

粒子 p_i 更新的速度和位置如下两个公式:

$$v_i^{new} = v_i^{old} + c_1 \times rand_1() \times (pbest_i - x_i^{old}) + c_2 \times rand_2() \times (gbest_i - x_i^{old}) \quad (16)$$

$$x_i^{new} = x_i^{old} + v_i^{new} \quad (17)$$

式中: c_1 和 c_2 是学习因子, 取 $c_1 = c_2 = 2.0$; $rand_1()$ 和 $rand_2()$ 是 $0 \sim 1$ 的随机数; V_i^{new} 取值在 $v_i^{min} \sim v_i^{max}$, 若大于 v_i^{max} , 则 $v_i^{new} = v_i^{max}$ 。式(16)和(17)即为标准 PSO 算法, $x_i^{new} = x_i^{old} + v_i^{new}$ 。

引入权重(又称惯性因子) w , 则标准 PSO 公式则变为:

$$v_i^{new} = w \times v_i^{old} + c_1 \times rand_1() \times (pbest_i - x_i^{old}) + c_2 \times rand_2() \times (gbest_i - x_i^{old}) \quad (18)$$

式(18)可推出 w 越大, 其全局搜索寻优能力强, w 越小, 其局部搜索寻优能力强, 一般取 $w = 0.9$ 或者 $w = 0.4$, 通过 w 调整权重如下。

1) f_i 优于 f_{avg}'

通过调整 w , 实现局部最优, 其公式如下:

$$w = w - (w - w_{min}) \left| \frac{f_i - f'_{avg}}{f_m - f'_{avg}} \right| \quad (19)$$

2) f_i 优于 f_{avg} 但次于 f'_{avg}

局部寻优性和全局寻优性都较好, 因此其权重 w 不改变。

3) f_i 次于 f_{avg}

$$w = 1.5 - \frac{1}{1 + k_1 \times \exp(-k_2 \times \Delta)} \quad (20)$$

通过调整 Δ 上升, w 下降 或者 Δ 下降, w 上升 来增强局部最优。由此, 提出了 APSO 结合二维 OSTU 阈值的分割算法,

4 仿真结果与实验分析

本文在处理器为 AMD A6-4400M APU with Radeon (tm) HD Graphics 2.7 GHz, 安装内存为 RAM 6 G 内存和 Windows 64 位操作系统下, 通过 VS2013 搭建 opencv 仿真环境, 采用 lena 灰度图像(256 pixel × 256 pixel)、红外相机采集的行人图像(256 pixel × 256 pixel)、灰度猩猩图像(220 pixel × 220 pixel)和彩色车牌图像(277 pixel × 184 pixel)进行仿真与验证, 由图 1 所示的流程得到双阈值。

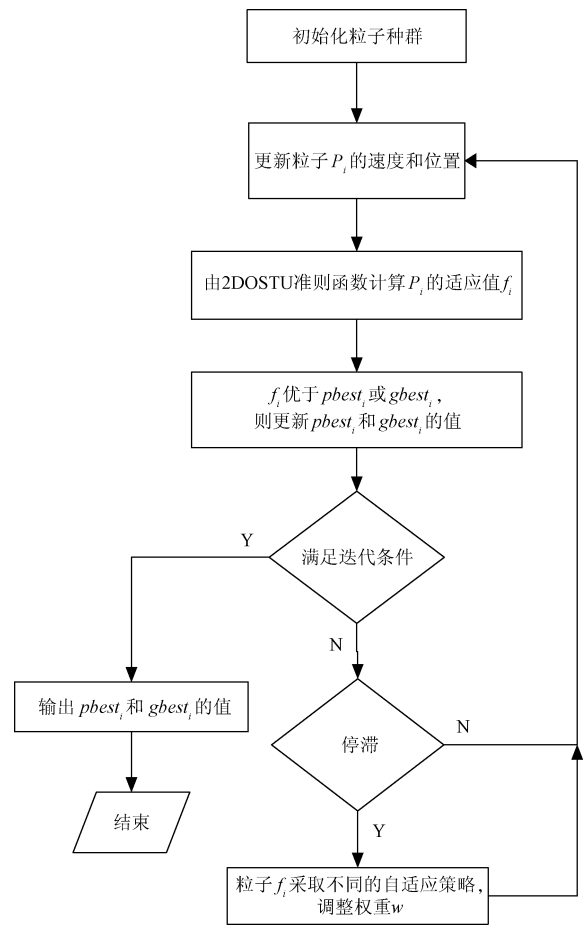


图 1 APSO 优化二维 OSTU 的阈值分割过程

Fig. 1 Threshold segmentation process based on APSO optimization of two-dimensional OSTU

其输出的 $gbest_i$ 为全局阈值, 而 $pbest_i$ 为局部阈值, 通过图像二值化将带有场景的图片进行阈值分割。其二值化的定义为假设一幅灰度级为 $0 \sim 255$ 的图片, 其灰度为 $f(x, y)$, 阈值为某一固定值时分离出前景和背景, 关系式如下:

$$f(x, y) = \begin{cases} 0, & 0 \leq f(x, y) < f(x', y') \\ 225, & f(x', y') \leq f(x, y) < 225 \end{cases} \quad (21)$$

通过调整权重 $w = 0.4$ 或 $w = 0.9$ 的大小和迭代次数分别得到表 1 和 2 的图像分割的阈值和图像的运行时间。

表 1 图像分割的阈值

Table 1 The threshold of image segmentation

	Lena	行人	猩猩	车牌
1D OSTU 算法	90	86	128	37
2D OSTU 算法	104	105	137	44
APSO + 2D OSTU 算法	115	115	140	60

表 2 图像分割的运行时间

Table 2 Running time of image segmentation

	(μs)			
	Lena	行人	猩猩	车牌
1D OSTU 算法	2.279 59	2.759 59	1.139 80	1.139 80
2D OSTU 算法	3.799 32	3.799 38	2.279 60	1.1519 73
APSO+2D OSTU 算法	0.759 872	0.569 90	0.759 867	0.759 965

由式(21)可知通过得到图像的最佳阈值,将小于阈值的灰度级为 0 定义为背景(白色),大于阈值的灰度级为 225 定义为前景(黑色),通过此原理将图片分为前景 A 类和背景 B 类。如图 2~5 所示,可看出原图自带噪声干扰,并且可得出去掉噪声干扰的图片分割效果相差不多,由表 1 得出 1D OSTU 阈值略小,分割效果不够理想,2D OSTU 阈值分割后阈值偏大,效果良好,但是由图 4(c)可看出仍有不足,而本文采用的结合自适应粒子群集优化的二维 OSTU 阈值分割算法使阈值更加稳定。由图 2~4 可看出本文方法分割效果更加显著。图 5 采集的



图 2 Lena 图像阈值分割结果

Fig. 2 Lena image threshold segmentation results

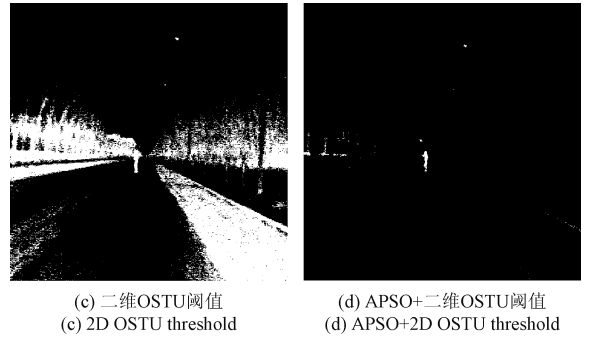
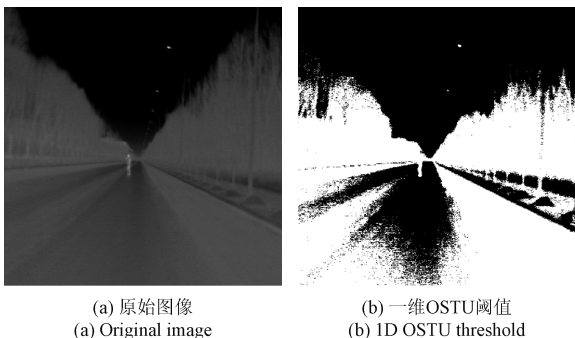


图 3 行人图像阈值分割结果

Fig. 3 Pedestrian image threshold segmentation results

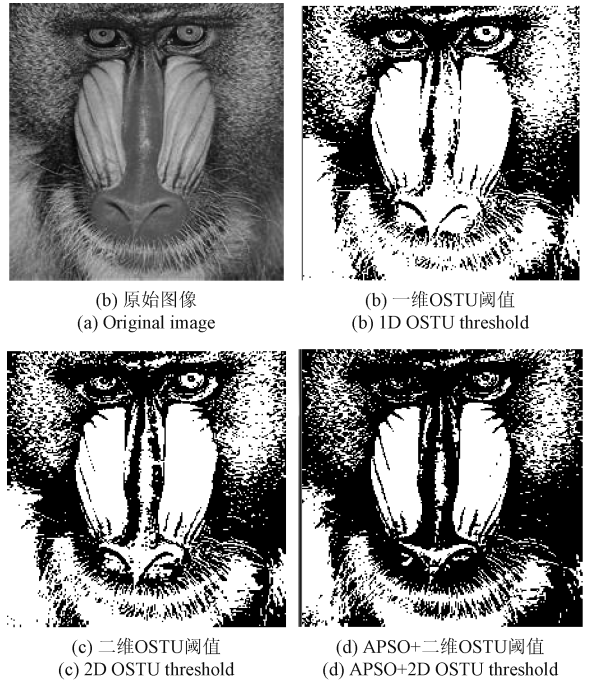


图 4 猩猩图像阈值分割结果

Fig. 4 Orangutan image threshold segmentation results

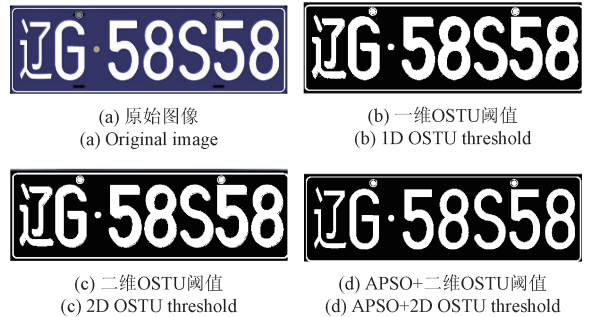


图 5 车牌图像阈值分割结果

Fig. 5 Licence plate image threshold segmentation results

是彩色图片,通过信号处理转换为灰度图像进行图像预处理,也可以得到较好的分割效果。

由表2可看出一维 OSTU 扩展到二维 OSTU 之后,由于升维使其计算开销偏大,运行时间延长,本文采用自适应粒子群集优化二维 OSTU 的方法使其运行时间缩小到原来的 1/2,减少了计算开销时间。

5 结 论

二维 OSTU 的阈值分割方法是一种有效的分割方法,相对于一维 OSTU 的阈值分割方法,考虑到了像素邻域的灰度级,使其分割效果更加显著。但是二维 OSTU 阈值分割方法,由于升维则其计算开销显著增大,为了减少运行时间,采用算法 APSO,该方法不仅可以稳定阈值还可以提高运行速度,其效果也优于传统的粒子群集优化算法(PSO)。此外,为了应用在驾驶辅助系统中,可应用到红外行人识别系统中进行行人识别的研究与分析。

参考文献

- [1] 范晋祥,杨建宇. 红外成像探测技术发展趋势分析[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(12):3145-3153.
FAN J X, YANG J Y. Development trends of infrared imaging detecting technology [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(12):3145-3153.
- [2] 龚淑柯,吴铁军. 基于三维直方图的 Fisher 评价函数图像分割方法[J]. 电光与控制, 2005, 12(4): 35-37.
GONG SH K, WU T J. 3D histogram based Fisher criterion function for image segmentation [J]. Electronics Optics & Control, 2005, 12(4): 35-37.
- [3] 朱贺,李臣明,张丽丽,等. 联合灰度阈值分割及轮廓形态识别的河道提取[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(11):1288-1296.
ZHU H, LI CH M, ZHANG L L, et al. River channel extraction by combining grey threshold segmentation and contour form recognition [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2014, 28(11): 1288-1296.
- [4] 王慧倩,邹永宁,蔡玉芳,等. 基于 Hessian 矩阵和熵的 CT 序列图像裂缝分割方[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(8):1800-1807.
WANG H Q, ZOU Y N, CAI Y F, et al. Crack segmentation in CT image sequences using Hessian matrix and entropy [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(8):1800-1807.
- [5] 吴艳丽,赵德群,陈鹏宇. 一种凝胶电泳图像的预处理方法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(11):53-57.
WU Y L, ZHAO D Q, CHEN P Y. Preprocessing method of gel electrophoresis image [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2016, 35(11):53-57.
- [6] XU F L, LIU X, FUJIMURA K. Pedestrian detection and tracking with night vision [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, 2005, 6(1):63-71.
- [7] 云挺进,郭永彩. 高潮. K-均值聚类中心分析法实现红外人体目标分割[J]. 光电工程, 2008, 35(3): 140-144.
YUN T J, GUO Y C, GAO CH. Human segmentation algorithm in infrared images based on K-means clustering centers analysis [J]. Opto-Electronic Engineering, 2008, 35(3):140-144.
- [8] LIU Q, ZHUANG J J. A generalized thresholding algorithm of pedestrian segmentation for far-infrared images [C]. Proceedings of IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST), IEEE, 2012:338-343.
- [9] GE J F, LUO Y P, GYOMEI T. Real-time pedestrian detection and tracking at nighttime for driver-assistance systems [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2009, 10(2): 283-298.
- [10] 吴一全,孟天亮,吴诗姍. 图像阈值分割方法研究进展 20 年(1994—2014) [J] 数据采集与处理, 2015, 30(1):1-23.
WU Y Q, MENG T L, WU SH H. Research progress of image thresholding methods in recent 20 years (1994-2014) [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2015, 30(1):1-23.
- [11] ADILJAN Y, YOSHIHIRO H, TASUKU M, et al. 2-D direction histogram based entropic thresholding [J]. Neurocomputing, 2013, 120(10):287-297.
- [12] 王星,宗凯. 基于局部熵的图像分割算法研究与实现[J]. 电子测量技术, 2016, 39(12):168-171.
WANG X, ZONG K. Research and implementation of imageSegmentation algorithm based on local entropy [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(12): 168-171.
- [13] 马英辉,吴一全. 基于二维 Renyi 交叉熵的刀具磨损图像分割[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(12): 1869-1876.
MA Y H, WU Y Q. Image segmentation for tool wear on 2D Renyi cross entropy [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(12): 1869-1876.
- [14] DU F, SHI W K, CHEN L, et al. Infrared image segmentation with 2D-maximum entropy method based on pattle swarm optimization [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(5):597-603.
- [15] KARABOGA D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization [D]. Keyseri: Ereyes University, 2005.
- [16] 韩江洪,李正荣,魏振春. 一种自适应粒子群优化算法及其仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(10): 2969-2971.

HAN J H, LI ZH R, WEI ZH CH. Adaptive particle swarm optimization algorithm and simulation [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(10):2969-2971.

- [17] ZHANG J, HU J L. Image segmentation based on 2D-OSTU method with histogram analysis [C]. International Conference on Computer Science and Software Engineering, IEEE, 2008:105-108.

作者简介



于洋, 1985 年于沈阳工业学院获得学士学位, 1990 年于沈阳工业学院获得硕士学位, 现为沈阳理工大学教授, 主要研究方向为智能与网络化测控。

E-mail: yusongh@126.com

Yu Yang received B. Sc. and M. Sc.

both from Shenyang Institute of Technology in 1985 and 1990, respectively. Now he is a professor in Shenyang Ligong University. His main research interest includes intelligent and networked measurement and control.



虞闯(通讯作者), 1989 年于哈尔滨工业大学获得学士学位, 2004 年于东北大学获得硕士学位, 现为沈阳理工大学副教授, 主要研究方向为智能卡技术及应用。

E-mail: yuchuang2002@163.com

Yu Chuang (Corresponding author) received B. Sc. from Harbin Institute of Technology in 1989 and M. Sc. from Northeast University in 2004, respectively. Now she is an associate professor in Shenyang Ligong University. Her main research topics include smart card technology and applications.