

基于改进人工蜂群正余弦优化的红外图像分割方法

李云红¹, 李传真¹, 屈海涛², 苏雪平¹, 毕远东¹, 谢蓉蓉¹

(1. 西安工程大学电子信息学院 陕西 西安 710048; 2. 哈尔滨市产品质量监督检验院, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘要:针对红外图像背景复杂且分割难度较大等问题,提出了一种改进人工蜂群正余弦优化的红外图像阈值分割方法。首先是将二维 Otsu 函数作为蜂群算法的适应度函数;其次采用混沌对立的學習方法和差分进化的方法改进了初始化种群和蜜蜂搜索方程;然后利用改进的蜂群算法优化阈值,缩小阈值的搜索区域;最后利用正余弦法计算出全局最优解,该最优解即为分割的最佳阈值。实验结果表明:论文方法与 Otsu 法、k-means 法、区域生长法以及分水岭法相比,图像目标区域分割的平均交并比为 84.13%,平均准确率为 89.18%,有效提高了红外图像的分割精度。

关键词:图像分割;红外图像;人工蜂群;正余弦法;最佳阈值

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2021.08.017

Infrared image segmentation method based on improved artificial bee colony sine and cosine optimization

LI Yun-hong¹, LI Chuan-zhen¹, Qu Hai-tao², Su Xue-ping¹, BI Yuan-dong¹, XIE Rong-rong¹

(1. School of Electronics and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. Harbin Product Quality Supervision and Inspection Institute, Harbin 150036, China)

Abstract: In view of the complex background of infrared image and the difficulty of segmentation, a threshold segmentation method of infrared image based on improved artificial bee colony sine and cosine optimization is proposed. Firstly, the two-dimensional Otsu function is used as the fitness function of the bee colony algorithm. Secondly, the chaotic opposition learning method and differential evolution method are used to improve the initial population and bee search equation. Then, the improved bee colony algorithm is used to optimize the threshold and reduce the search area of the threshold. Finally, the global optimal solution is calculated by the sine and cosine method, which is the optimal threshold for segmentation. The experimental results show that: compared with Otsu method, k-means method, region growing method and watershed method, the average intersection and union ratio of images target region segmentation is 84.13%, and the average accuracy rate is 89.18%, which effectively improves the segmentation accuracy of infrared image.

Keywords: image segmentation; infrared image; artificial bee colony; sine cosine method; optimal threshold value

基金项目:陕西省科技厅青年科学基金项目(No. 2019JQ-255);西安市科技局高校人才服务企业项目(No. 2019217114GXRC007CG008-GXYD7.2; No. 2019217114GXRC007CG008-GXYD7.8);国家级大学生创新创业训练计划项目(No. S202010709003)资助。

作者简介:李云红(1974-),女,工学博士,教授,硕导,主要从事红外热像测温技术,图像处理,信号与信息处理技术研究。E-mail:hitliyuhong@163.com

收稿日期:2020-09-25

1 引言

近年来,随着智能电网的发展,红外图像检测技术逐渐运用到对电力设备的热故障诊断中^[1]。但在实际的红外图像采集过程中,图像容易受到自身成像系统以及电力设备复杂环境背景的影响,使得采集回来的红外图像存在背景复杂、光照不均匀等问题,严重影响了故障区域的提取^[2]。因此,为了便于观察与分析,适当地增强红外目标、削弱与去除不需要的信息,这便需要采用图像的分割技术^[3]。目前常用的分割方法有阈值分割法^[4]、区域分割法^[5]、聚类分割法^[6]、分水岭法^[7]以及神经网络分割法^[8]等。在众多方法中,阈值分割法因其效率高、算法简单,一直都是图像分割领域的热门研究方法。由于红外图像背景较为复杂,单单采用阈值分割法往往不能达到理想的分割效果。

为提高图像分割的分割效果,一些学者将人工蜂群算法应用到图像的阈值分割中。Horng等^[9]提出了一种最大熵法和人工蜂群法相结合的阈值图像分割方法,但该方法有时会造成明显的过分割问题;程伟等^[10]提出了一种基于改进人工蜂群算法的Otsu图像分割方法,虽然提高了分割的准确率,但当图像质量较差时,该方法容易陷入局部最优并产生错误的阈值;赵凤等^[11]提出了一种多目标粒子群和人工蜂群混合优化的阈值图像分割方法,采用最大熵函数和最大类间方差函数作为算法的目标函数,但该方法缺乏对复杂图像的适用性。曲蕴慧等^[12]提出了一种基于人工蜂群优化的MR阈值图像分割方法,将人工蜂群算法与二维Otsu算法结合对MR图像进行分割,但该方法存在着收敛速度较慢和耗时间较长的问题。

针对以上方法存在的问题,论文通过混沌对立和差分进化优化初始化种群和建立新的蜜蜂搜索方程,提出改进人工蜂群正余弦优化的图像阈值分割方法,经仿真实验表明,该方法针对复杂背景的电力设备红外图像能够取得理想的分割效果,提高了算法的收敛速度。

2 人工蜂群算法和正余弦算法

2.1 人工蜂群算法

人工蜂群算法(ABC)模拟了自然界蜂群的觅食行为将整个蜂群分为3类:雇佣蜂、跟随蜂和侦察蜂。其中雇佣蜂和跟随蜂负责实物来源的开采过程,侦察蜂负责新实物来源的探索过程。整个蜂群

的目标是寻找花蜜量最大的蜜源,即优化中的最优解。该算法的执行过程为:

①蜜源初始化。确定蜜源数量 N 和在 D 维搜索空间中进行搜索,且雇佣蜂数量与蜜源数量一致,则蜜源 $x_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,D})$ 代表一个候选解,其中 $i = 1, 2, \dots, N$ 。生成蜜源初始化如公式(1)所示:

$$x_{id} = x_d^{\min} + (x_d^{\max} - x_d^{\min}) \times \delta \quad (1)$$

式中, $i \in \{1, 2, \dots, N\}$, $d \in \{1, 2, \dots, D\}$, δ 表示 $0 \sim 1$ 上的随机数; x_d^{\max} 和 x_d^{\min} 表示可行解第 d 维的上界和下界。每次求解后,通过适应度函数判断解的优劣性:

$$f_u = \begin{cases} 1/1 + f(x_{ij}), & f(x_{ij}) \geq 0 \\ 1 + |f(x_{ij})|, & f(x_{ij}) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

②雇佣蜂阶段。雇佣蜂负责探索蜜源,在蜜源附近,产生一个随机的候选解如公式(3)所示:

$$v_{id} = x_{id} + \phi_{id}(x_{id} - x_{kd}) \quad (3)$$

式中, $i \in (1, N)$, $d \in (1, D)$; ϕ_{id} 是区间 $[-1, 1]$ 上的随机数; $k \neq i$,通过贪婪选择决定是否由 v_{id} 替换 x_{id} 。

③跟随蜂阶段。跟随蜂接收雇佣蜂的蜜源信息后进一步进行开采。通过轮盘赌算法,根据蜜源的适应度 f_u 按式(4)计算蜜源被选中的概率 p_i ,适应度越高,被选中的概率越大。

$$p_i = \frac{f_{u,i}}{\sum_{i=1}^N f_{u,i}} \quad (4)$$

④侦察蜂阶段。当一个蜜源达到开采上限时适应度仍未更新,蜜源被淘汰,根据式(1)随机选取新蜜源。

2.2 正余弦法

正余弦算法是利用正弦余弦的数学形式应用于优化各种问题,通过生成各种随机解决方案来启动优化过程,然后通过迭代获得最佳解决方案,最佳解决方案定义为目标点,在继续迭代的同时,正弦和余弦范围根据其数学形式进行调整,以更好地利用搜索空间,当满足停止条件时,迭代停止。正余弦算法的数学形式如公式(5)所示:

$$X(t+1) = \begin{cases} X(t) + r_1 \times \sin r_2 \times |r_3 \times X^* - X(t)| r_4 < 0.5 \\ X(t) + r_1 \times \cos r_2 \times |r_3 \times X^* - X(t)| r_4 \geq 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

其中, X 表示种群; t 是当前迭代次数; X^* 是上一代最优解。算法的重点是 r_1 到 r_4 这四个参数,这四个参数除了 r_1 ,其他都是随机数。其中 $r_1 = c - c \times t/t_{\max}$, c 为任意大于0的常数。

3 改进的人工蜂群算法

3.1 适应度函数的选择

适应度函数主要是用来评价种群中个体的优劣个性。论文采用二维 Otsu 作为人工蜂群算法的适应度函数,对于二维 Otsu 多阈值分割,将分割阈值灰度级扩展到 (s_k, t_k) ,其中 k 代表着分割阈值数。假设 T_1 代表背景区域, $T_2 \cdots T_k$ 代表目标区域,则各类区域的概率计算方式为:

背景区域概率:

$$w_0 = \sum_{i=0}^{s_1} \sum_{j=0}^{t_1} p_{ij} \quad (6)$$

目标区域 T_k 的概率:

$$w_k = \sum_{i=s_2}^{s_k} \sum_{j=t_2}^{t_k} p_{ij} (k \geq 2) \quad (7)$$

式中, $p_{ij} = r_{ij}/W \times H$ 表示原图灰度级为 i 且邻域平均灰度级为 j 的像素点 (x, y) 的联合概率密度函数, r_{ij} 为像素点 (x, y) 的个数。背景区域均值矢量为 $u_1 = (u_{1i}, u_{1j})^T$, 目标区域 T_k 的均值矢量为 $u_k = (u_{ki}, u_{kj})^T$ 。最终分割阈值定义为 $(s_1, t_1), (s_2, t_2) \cdots (s_k, t_k)$, 二维 Otsu 多阈值函数表示为:

$$R(s_1, t_1, s_2, t_2, \cdots, s_k, t_k) = \sum_{n=1}^k w_n [(u_{ni} - u_{il})^2 + (u_{nj} - u_{jl})^2] \quad (8)$$

则二维 Otsu 通过公式(9)确定最佳阈值:

$$(s_1^*, t_1^*), (s_2^*, t_2^*), \cdots, (s_k^*, t_k^*) = \underset{0 \leq s_1 \leq \cdots \leq s_k, 0 \leq t_1 \leq \cdots \leq t_k}{\text{Argmax}} R(s_1, t_1, s_2, t_2, \cdots, s_k, t_k) \quad (9)$$

3.2 种群初始化和雇佣蜂搜索方程的改进

为了提高算法的搜索能力,同时提高算法开采能力和收敛速度,论文在标准蜂群算法的基础上,提出了一种改进的人工蜂群算法。算法主要是对种群初始化和雇佣蜂搜索方程进行改进。

3.2.1 种群初始化

种群初始化是进化算法的一个关键点,因为它影响着算法的收敛速度和最终解的质量。为了选择更好的初始种群,论文提出一种新的初始化方法,利用具有遍历性、随机性的混沌系统和不规则性的对立的的学习方法来生成初始种群。其方程迭代如公式(10)所示:

$$ch_{k+1} = \mu \cdot ch_k (1 - ch_k) \quad (10)$$

式中, k 表示的是迭代次数; μ 的值设为 4, ch_k 是 $[0, 1]$ 的随机数。

在基础的对立学习中,一个估计解 x_{id} 及其对立的相对估计解为 x_{id}^* , 该解覆盖在整个搜索空间。

$$x_{id} = x_d^{\min} + ch_{k,d} (x_d^{\max} - x_d^{\min}) \quad (11)$$

$$x_{id}^* = x_d^{\min} + x_d^{\max} - x_{id} \quad (12)$$

这里提出的初始化策略是通过计算原始解求出基础相应对立解,以便在更大的搜索范围里选择解。

3.2.2 雇佣蜜蜂搜索方程

差分进化算法已经被证明是一种简单而有效的进化算法,为提高人工蜂群算法的搜索性能,论文结合差分进化的方法提出一种新的搜索方程,如公式(13)所示:

$$v_{id} = x_{id} + \phi_{id} (x_{\text{best},d} - x_{r_1,d}) + (1 - \phi_{id}) (x_{r_2,d} - x_{r_3,d}) \quad (13)$$

式中, r_1, r_2, r_3 互为随机数字,且 $r_1, r_2, r_3 \in (1, N)$, $r_1 \neq r_2 \neq r_3, i \in [1, N], d \in [1, D]$ 。 x_{best} 是当前种群中具有最佳适应度的最佳解, ϕ_{id} 是区间 $[-1, 1]$ 上的随机分布的数字。

4 改进人工蜂群正余弦优化的阈值分割方法

为进一步提高图像分割的准确率和效率,论文联合人工蜂群算法、正余弦算法和二维 Otsu 多阈值分割方法寻找最佳分割阈值。基于改进人工蜂群正余弦优化的阈值图像分割方法流程图如图 1 所示。

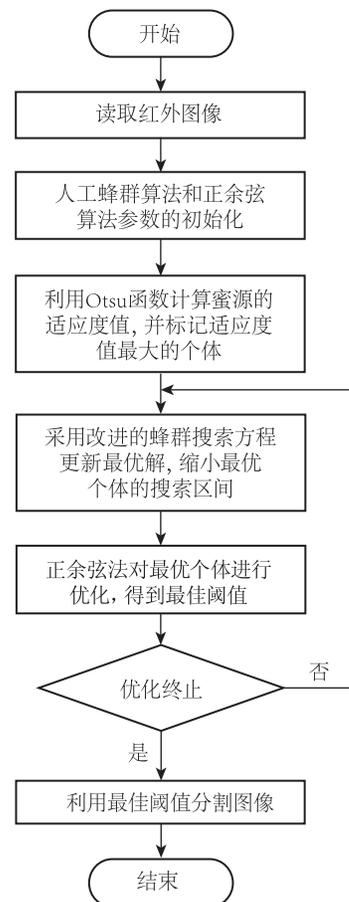


图 1 本文算法流程图

Fig. 1 Algorithm flow chart of this paper

具体步骤如下:

第一步:读取红外图像;

第二步:参数的初始化,为 N 个个体设置初始值,每个个体都对应图像的不同阈值;

第三步:将二维 Otsu 函数设为人工蜂群优化方法的适应度函数,计算每个蜜源对应的适应度值,并标记适应度值最大的个体;

第四步:利用改进的人工蜂群算法(13)式搜索新的解,并对比更新前后解的适应度值,当新解适应度值大于原解时,则新解替代原解,否则保持不变;

第五步:利用正余弦法式(5)再次对新解进行优化更新,使其最终产生全局最优解,该最优解即代表最佳阈值,则优化停止,否则转至步骤四。

5 实验结果

为了验证论文方法的有效性,进一步测试改进算法的分割效果,论文选取图 2 所示 4 组电力设备红外图像进行分割对比试验。并与 Otsu 法、k-means 法、区域生长法以及分水岭算法进行对比,图 3 为使用不同方法得到的红外图像分割结果。

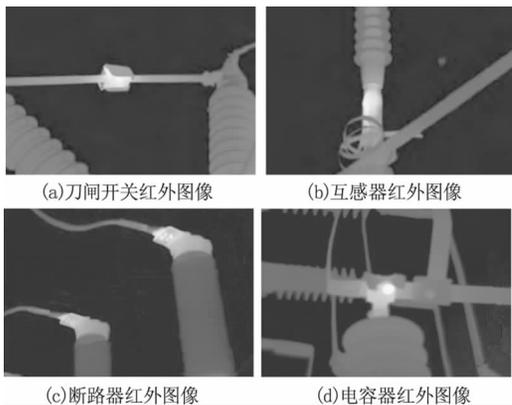


图 2 典型电力设备红外图像

Fig.2 Infrared image of typical power equipment

为了准确客观地评价图像分割的质量,论文采用交并比(IoU)和准确率(Accuracy)对不同方法的分割效果进行定量评价,得到结果如表 1 所示。交并比和准确率的计算如(14)和(15)所示。

表 1 分割交并比和准确率对比表

Tab.1 Comparison table of segmentation IoU and Accuracy

红外图像	指标	Otsu 法	k-means 法	区域生长法	分水岭法	论文方法
隔离开关图像	IoU	0.638	0.643	0.676	0.481	0.834
	Accuracy	0.722	0.713	0.718	0.539	0.885
互感器图像	IoU	0.697	0.507	0.732	0.428	0.829
	Accuracy	0.753	0.605	0.809	0.235	0.877
断路器图像	IoU	0.535	0.585	0.762	0.303	0.861
	Accuracy	0.574	0.625	0.819	0.568	0.913
电容器图像	IoU	0.673	0.725	0.784	0.549	0.841
	Accuracy	0.707	0.784	0.831	0.607	0.892

$$IoU = \frac{area(D) \cap area(S)}{area(D) \cup area(S)} \quad (14)$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (15)$$

式中, $area(D)$ 表示使用不同方法分割的结果; $area(S)$ 表示确定的标准分割结果。 TP 和 TN 表示正确的目标像素集和背景像素集; FP 和 FN 表示误分的像素集和漏分的像素集。

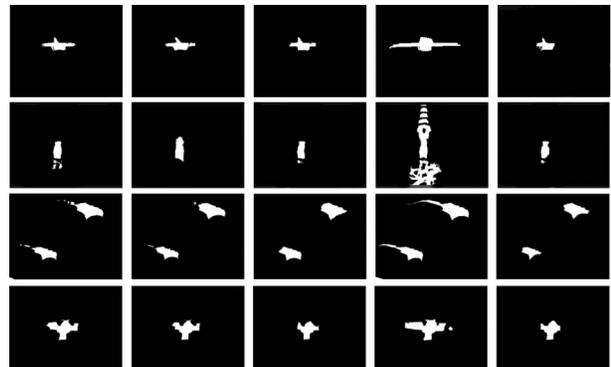


图 3 不同方法对 4 组红外图像分割结果

Fig.3 Four groups of infrared image segmentation results by different methods

从图 3 中可以看出,采用分水岭法产生了明显的过分割现象;而 Otsu、k-means 法和区域生长法虽然能把故障区域分割出来,但是也存在一定的误分区域;论文方法在图像细节的分割效果上具有一定优势,能够更好地分割出故障区域。

根据表 1 中交并比和准确率数据对比也可以明显看出,论文方法相较于其他四种方法,对图像故障区域的分割取得了较高的准确率,分割结果最接近标准分割图形。数据显示论文方法平均分割交并比为 84.13%,平均准确率为 89.18%。与 Otsu 法、k-means 法、区域生长法、分水岭法相比具有明显的分割效果。图像的分割效果和图像的细节信息以及目标区域的完整性都明显优于其他方法。

6 结 论

论文将人工蜂群算法和正余弦算法引入到图像的阈值分割算法中,提出的改进人工蜂群正余弦优化的红外图像阈值分割方法经仿真实验测试取得了较好的分割效果。与 Otsu 法、k-means 法、区域生长法以及分水岭法测试比较,基于改进人工蜂群正余弦优化的红外图像阈值分割方法对红外图像目标区域分割的平均交并比为 84.13%,且平均准确率为 89.18%,显著提高了红外图像目标区域分割的准确性和稳定性。

参考文献:

- [1] Yu Chengbo, Zeng Liang, Zhang Lin. Multi point fault segmentation of electrical equipment based on OTSU and region growth [J]. *Infrared Technology*, 2018, 40 (10): 1008 - 1012. (in Chinese)
余成波, 曾亮, 张林. 基于 OTSU 和区域生长的电气设备多点故障分割 [J]. *红外技术*, 2018, 40 (10): 1008 - 1012.
- [2] Zhao Qingsheng, Wang Yuying, Wang Xuping, et al. Substation infrared image segmentation based on novel threshold selection method [J]. *Acta Optica Sinica*, 2019, 39 (8): 109 - 116. (in Chinese)
赵庆生, 王雨滢, 王旭平, 等. 基于新型阈值选择方法的变电站红外图像分割 [J]. *光学学报*, 2019, 39 (8): 109 - 116.
- [3] Y Li, Y Bi, W Zhang, et al. Multi-scale anisotropic gaussian kernels for image edge detection [J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 1803 - 1812.
- [4] A Ewees, M Abd Elaziz, M Al-Qaness, et al. Improved artificial bee colony using sine-cosine algorithm for multi-level thresholding image segmentation [J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 26304 - 26315.
- [5] X Jiang, Y Guo, H Chen, et al. An adaptive region growing based on neutrosophic set in ultrasound domain for image segmentation [J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 60584 - 60593.
- [6] L Sun, B Luo, T Liu, et al. Algorithm of adaptive fast clustering for fish swarm color image segmentation [J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 178753 - 178762.
- [7] Li Yunhong, Zhang Qiuming, Zhou Xiaoji, et al. Watershed image segmentation algorithm based on morphology and region merging [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2020, 56(2): 190 - 195. (in Chinese)
李云红, 张秋铭, 周小计, 等. 基于形态学及区域合并的分水岭图像分割算法 [J]. *计算机工程与应用*, 2020, 56(2): 190 - 195.
- [8] K Hu, Q Gan, Y Zhang, et al. Brain tumor segmentation using multi-cascaded convolutional neural networks and conditional random field [J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 92615 - 92629.
- [9] Horng M H. Multilevel thresholding selection based on the artificial bee colony algorithm for image segmentation [J]. *Expert Systems With Applications*, 2011, 38 (11): 13785 - 13791.
- [10] Cheng Wei. Improvement of intelligent optimization algorithm and its application in image segmentation [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019. (in Chinese)
程伟. 智能优化算法的改进及其在图像分割中的应用研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- [11] Zhao Feng, Kong lingrun, Ma Ganni. A threshold image segmentation algorithm based on multi-objective particle swarm and artificial bee colony hybrid optimization [J]. *Computer Engineering and Science*, 2020, 42 (2): 281 - 290. (in Chinese)
赵凤, 孔令润, 马改妮. 多目标粒子群和人工蜂群混合优化的阈值图像分割算法 [J]. *计算机工程与科学*, 2020, 42 (2): 281 - 290.
- [12] Qu Yunhui, Chen Xiaoju. Research on MR image segmentation algorithm based on artificial bee colony optimization [J]. *Image Science and Photochemistry*, 2020, 38 (3): 508 - 513. (in Chinese)
曲蕴慧, 陈小菊. 基于人工蜂群优化的 MR 图像分割算法研究 [J]. *影像科学与光化学*, 2020, 38 (3): 508 - 513.