

文章编号: 1672-8785(2010)08-0033-05

基于遗传算法的红外热波图像配准技术研究

黄小荣 张金玉

(第二炮兵工程学院 501 教研室, 陕西 西安 710025)

摘 要: 由于红外热像仪的视场角有限和人们对获取热波图像的分辨率要求较高, 大尺寸物件的热波无损检测需要将多次检测得到的多幅图像拼接起来后才能实现。图像拼接的前提是图像配准精确。根据模板匹配的思想, 将遗传算法引入到了热波图像配准技术当中。通过改进选择策略, 设计了自适应的交叉和变异概率, 从而实现热波图像的精确配准。实验结果表明, 此方法能够很好地实现热波图像的精确配准, 运算速度得到了改善且稳定性良好。

关键词: 红外热波; 遗传算法; 图像配准; 自适应概率

中图分类号: TP911.73 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2010.08.008

Study of Registration of Infrared Thermal Wave Images Based on Genetic Algorithm

HUANG Xiao-rong, ZHANG Jin-yu

(Dept. of 501, The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: Because the angle of field of view of an infrared thermal imager is limited and higher resolution is required for the obtained thermal wave image, the thermal wave nondestructive detection of a large object can be implemented only when several images are jointed. For the joint of images, the premise is that the images should be registered precisely. According to the concept of template matching, the Genetic Algorithm (GA) is incorporated into the infrared thermal wave image registration. Through the modification of selection strategy, an adaptive crossover and mutation probability is designed to realize precise registration of thermal images. The experimental result shows that the method can realize the precise registration of thermal images and its operation speed and stability are improved.

Key words: thermal wave; genetic algorithm; image registration; adaptive probability

1 引言

红外热波无损检测技术就是根据热波理论, 将被测物件加热, 利用红外热成像仪对物件表面的温度变化情况进行实时采集并将采集内容转换为可见光图像, 然后再通过特定的热波图像分析处理软件实现对物件的无损检测和探

伤。由于热波无损检测技术具有非接触测量、速度快、灵敏度高、安全无污染等区别于传统无损检测技术的优点, 已被广泛应用于电力、石油化工、航空航天和新材料等领域。但是, 由于受到探测器视场角的限制, 红外热像仪无法一次性完成对大尺寸物件的热波成像。另外, 考虑到大气对热辐射传输的影响以及人们对检测精度和分

收稿日期: 2010-03-23

作者简介: 黄小荣 (1985-), 男, 四川蓬溪人, 硕士研究生, 主要研究方向为红外热波图像处理。E-mail: huangxiaorongyun@sina.com.cn

分辨率的要求,检测距离又不能太远。为了实现大尺寸物件的热波无损检测,除了要研发新的具有更大视场角的探测器以外,另一种有效的方法就是对被测物件进行多次成像,再利用数字图像拼接技术对获取的多幅热波图像进行分析处理,从而实现对大尺寸物件的检测。

由于检测位置的改变,在不同时间获取的多幅热波图像之间存在旋转和平移等几何形变,因而在进行拼接前必须使热波图像精确配准。配准精度的高低直接决定了图像的拼接质量和缺陷检测的可靠性。本文在分析现有图像配准技术的基础上,结合模板匹配的思想,将遗传算法引入到热波图像的配准技术当中,对配准时的变换参数进行优化搜索,并通过改进选择策略,设计自适应的交叉和变异概率,从而实现热波图像的高精度和高效率配准。

2 基本原理

2.1 图像配准原理

图像配准是指对取自不同时间、不同传感器或不同视角的同一场景的两幅或多幅图像进行空间和时间上的校准的技术^[1]。图像配准的方法通常可以分为基于灰度的配准方法、基于特征的配准方法和基于变换域的配准方法。基于灰度的配准方法只对图像的灰度进行处理,不需要复杂的特征提取等预处理操作,能最大限度地保留图像的信息;其缺点是计算量大、配准时间长,对缩放、旋转和扭曲等几何变形较为敏感,且忽略了图像的相关空间信息。基于特征的配准方法是通过提取图像的特征来进行配准的,具有操作简单、配准精度高和速度较快等优点,但同时存在需要人工干预和特征获取比较困难等缺点^[2];基于频率域的配准方法主要是通过傅里叶变换或小波变换进行配准的,其优点是可以利用相位平移理论的扩展对平移、旋转、镜像和缩放等变换的图像进行匹配,且不受噪声和对比度差异等不利因素的影响;其缺点是速度较慢,且图像之间一般要求有比较大的重叠区域^[3]。本文结合热波图像的特点,采

用基于特征的图像区域匹配方法(模板匹配)来实现热波图像的配准。

设 A 和 B 为待配准的具有重叠区域的两幅热波图像,选择 A 作为浮动图像, B 为参考图像。在 A 的右半部分选择一个 $n \times m$ 大小的模板,利用一定的搜索策略在 B 中找到与该模板相对应的区域,并根据控制参数来实现图像的配准。

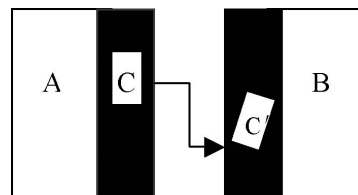


图 1 模板匹配的原理示意图

传统的方法是将模板 C 依次在图像 B 中进行逐点移动,每次一个像素,然后在图像 B 中的每一点上计算模板 C 与该区域的匹配程度,直到找到具有最佳匹配效果的区域 C'。模板 C 和区域 C' 之间的对应关系即是图像 A 和图像 B 之间的几何变换关系:

$$\begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, (x', y') 为区域 C' 的坐标, (x, y) 为模板 C 的坐标, t_x 为水平位移量, t_y 为垂直位移量, θ 为绕圆心的旋转量。其中,坐标原点选在图像 B 的中心。

当两幅图像只存在水平和垂直位移时,这一穷举搜索过程会变得十分复杂,精度低且计算量大,会使配准的速度变得非常缓慢;如果两幅图像之间还存在旋转和缩放等形变,则计算量将会成倍地增加。因而,必须对现有的搜索策略进行改进,以降低计算量和提高配准精度。

2.2 基本遗传算法(SGA)^[4-6]

遗传算法(GA)是美国 Michigan 大学的 Holland 教授及其学生受到生物模拟技术启发后,

于 20 世纪 60 年代提出的一种基于生物遗传和进化机制的自适应概率搜索优化算法。它是达尔文“优胜劣汰、适者生存”的自然选择和孟德尔的遗传变异理论为基础的。而基本遗传算法是由 Goldberg 于 1989 年总结出来的, 其一般流程如图 2 所示。

可行解的编码方式、遗传算子(选择、交叉和变异算子)的设计和适应度函数的选择是构造遗传算法时需要考虑的三个主要问题。标准遗传算法中采用的编码方式为二进制编码, 遗传算子分别为轮盘赌选择算子、单点交叉算子和基本位变异算子。

二进制编码是最常用的编码方式。这种编码方式的优点在于, 交叉和变异等遗传操作易于实现, 便于利用模式定理对算法进行理论分析, 但是当对解的精度要求较高时, 需要增加染色体的长度, 这势必会使遗传算法的搜索空间急剧扩大; 如果长度太短, 就会达不到精度要求。

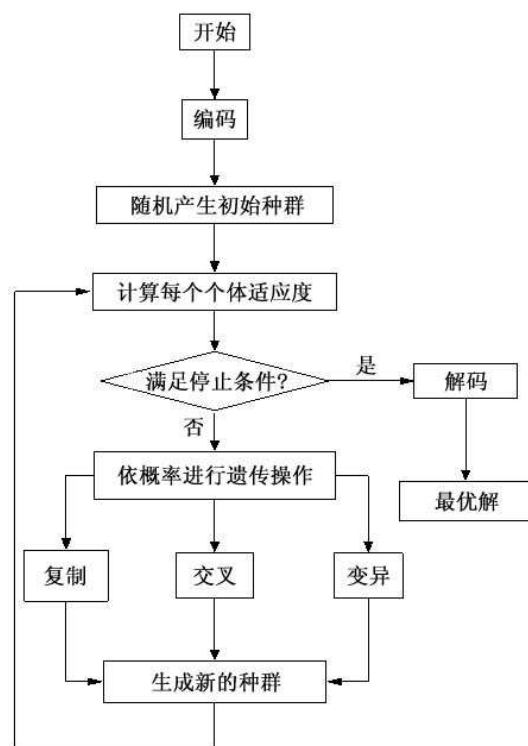


图 2 基本遗传算法的原理示意图

选择操作是指在种群中选择适应度较强的个体直接进入下一代种群。算子选择不当, 会使

子代和父代种群之间的差异性不大, 导致进化停止不前; 或使适应度偏大的个体误导群体的发展方向, 使群体失去多样性, 产生早熟问题。轮盘赌选择策略认为, 适应度较大的个体被选择即遗传到下一代的概率较大, 适应度较小的个体被选择的概率较小, 这样就可以使群体中个体的适应度值不断接近最优解, 从而确保遗传算法能够收敛到全局最优解。这种选择方法的误差较大, 有时甚至连适应度最高的个体也选不上, 这就会降低群体的平均适应度, 对 GA 的运行效率和收敛性都有不利影响。

交叉是指将父代中的两个个体的部分染色体交换, 从而产生新的个体。交叉操作是遗传算法中产生新个体的主要方式, 决定了遗传算法的全局搜索能力。在基本遗传算法中, 交叉概率是固定不变的, 这必然会影响到遗传算法的全局搜索能力。如果采用的交叉概率太大, 容易使好的个体被破坏掉, 导致收敛速度较慢; 而交叉概率太小, 则又可能陷入局部最优解。

变异是指染色体编码串中某些基因座上的基因值被该基因座的其他等位基因所替换, 是产生新个体的辅助方法。变异算子决定了遗传算法的局部搜索能力。通过变异操作, 可以保持种群的多样性。它在二进制编码中是指“0”变为“1”, 或者“1”变为“0”。基本遗传算法的变异概率同样是固定不变的。当变异概率太大时, 遗传算法退化为随机搜索算法; 当变异概率太小时, 遗传算法又无法保持种群的多样性, 会出现“早熟”现象。

适应度函数是衡量种群中的个体在优化计算中能达到或接近最优解的优良程度。适应度函数的选取一般须视具体情况而定, 通常应当满足下列条件: 单值、非负和计算量小。

3 基于改进 GA 的红外热波图像配准

遗传算法由于具有全局优化、依概率搜索、自适应、并行和鲁棒等优点, 在参数优化上具有无可比拟的优势。因而将遗传算法应用到图像配准当中, 对模板匹配过程中的参数(水平位移 t_x 、垂直位移 t_y 、选择角度 θ 等)进行优化, 可以提高匹配精度, 降低运算时间。针对基本遗

传算法在优化搜索方面存在的不足,我们在将其应用于红外热波图像配准领域时,提出了以下改进策略:

(1) 采用实数编码方式。实数编码适用于参数变换较大、精度要求较高和存在较大空间的参数优化情况,它可以减少采用二进制方式时编码和解码所耗费的时间,从而提高配准速度。

(2) 改进遗传算子。针对基本遗传算法中遗传算子的缺点,对遗传算子作了以下改进:

① 选择父代中个体适应度排在前 10% 的个体,不令其参与交叉和变异运算,而是直接用它们替换经过交叉和变异等操作后适应度最低的个体;

② 选择父代中个体适应度排在后 5% 的个体,设定其变异概率为固定值 0.2;

③ 针对余下的 85% 的个体,采用自适应交叉和变异概率。

自适应交叉操作的基本思想是对适应度高的个体采用较小的概率进行交叉,对适应度低的个体采用较大的概率进行交叉。 p_c 的取值由式 (2) 确定:

$$p_c = \begin{cases} a \times \frac{f' - f_{avg}}{f_{max} - f_{avg}}, & f' \geq f_{avg} \\ b + \frac{f' - f_{avg}}{f_{max} - f_{avg}}, & f' < f_{avg} \end{cases} \quad (2)$$

自适应变异概率的基本思想是使适应度高的个体的变异概率变小,使适应度低的个体的变异概率变大。 p_m 的取值由式 (3) 确定:

$$p_m = \begin{cases} c \times \frac{f'' - f_{avg}}{f_{max} - f_{avg}}, & f'' \geq f_{avg} \\ d + \frac{f'' - f_{avg}}{f_{max} - f_{avg}}, & f'' < f_{avg} \end{cases} \quad (3)$$

式 (2) 和式 (3) 中, p_c 为交叉概率; p_m 为变异概率; f' 为选中的待交叉的两个个体中较大的适应度值; f'' 为待变异个体的适应度值; f_{avg} 为当前种群中个体的适应度平均值; f_{max} 为当前种群中个体的最大适应度值; a 、 b 、 c 、 d 为自适应概率参数。实际应用中,可以根

据不同的输入图像和要求进行调节,其取值范围为 $a:[0,0.5]$ 、 $b:[0.5,0.9]$ 、 $c:[0,0.3]$ 、 $d:[0.3,0.8]$ 。

(3) 适应度函数。当图像 A 中的模板 C 和图像 B 中的待配准区域 C' 完全匹配时,两者之间的像素灰度值之差应该最小。所以我们可以利用最小平方误差 $D(i, j)$ 来衡量两者的相似程度,并将其作为遗传算法的适应度函数:

$$D(i, j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [C(i, j) - C'(i, j)]^2 \quad (4)$$

需要指出的是,式 (4) 中坐标 (i, j) 的值是由移动坐标系给出的,该坐标系的原点是模板 C 的左下角,取值范围由所选择的模板 C 的尺寸 $n \times m$ 确定。

(4) 参数的选择:种群规模 M 为 80,进化代数 T 为 120,水平位移 x 的范围为 $[-5, 5]$,垂直位移 y 的范围为 $[-5, 5]$,旋转角度的范围为 $[-3^\circ, 3^\circ]$ 。

4 配准算法的实验结果

本实验用 Matlab 编写了配准算法的实现程序,其流程图如图 3 所示。

图 4 和图 5 为具有重叠区域的两幅热波图像,图 6 为采用本文算法进行配准后并经过图像融合处理的效果图,其中选取自适应概率参数为 $a=0.4$ 、 $b=0.8$ 、 $c=0.2$ 、 $d=0.5$ 。必须指出的是,实际参数的选择可能会发生变化,这主要与随机产生的初始种群中个体适应度值的分布和给定的进化代数等有关。当概率小于 0 时,则认为不对该染色体进行交叉或变异操作。

通过大量实验观测和分析,并与利用基本遗传算法和传统的模板匹配方法进行热波图像配准的结果作比较,可以看出,本文提出的基于改进型遗传算法的红外热波图像配准的速度明显加快,精度显著提高,具有较强的稳定性。

5 结论

本文通过分析热波图像配准时模板匹配算法存在的计算量大和计算速度慢的缺点,结合

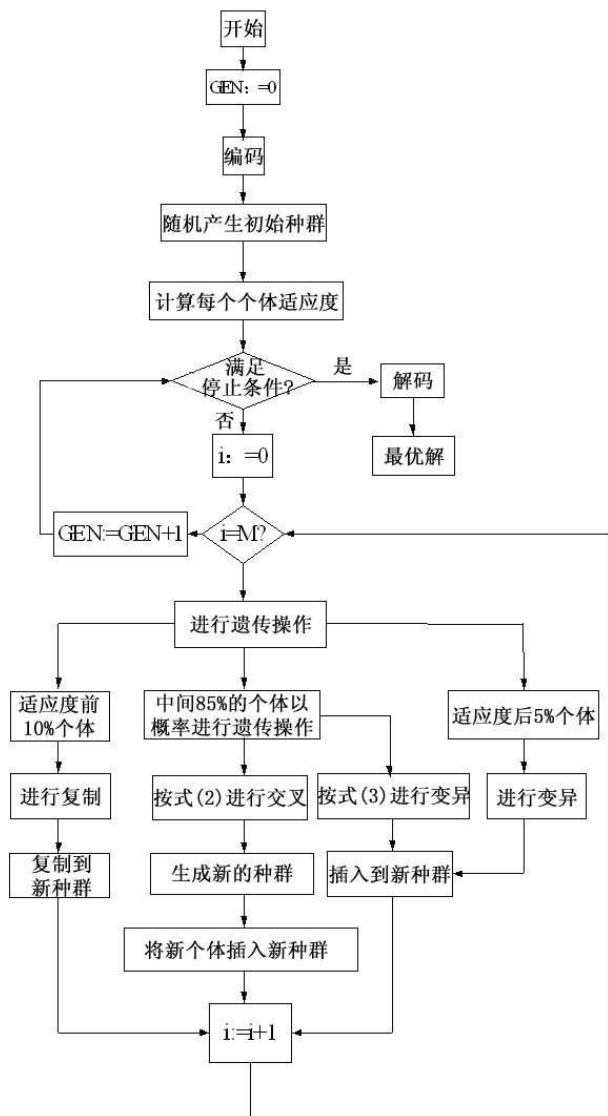


图 3 改进遗传算法的流程框图

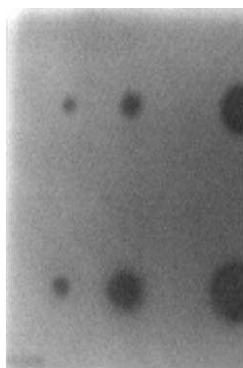


图 4 待配准的图像 A

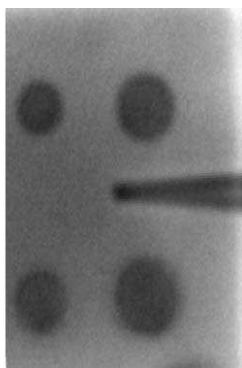


图 5 待配准的图像 B

遗传算法的全局优化搜索能力, 用改进的遗传操作法 (10% 最优保存策略与自适应交叉和变异

概率) 对热波图像配准技术进行了改进。实验表明, 对于两幅存在几何变换关系、具有重叠区域的热波图像, 本算法能够很好地实现两者的精确配准, 且配准速度明显提高, 从而为实现大尺寸物件的热波检测提供了可靠的技术保障。

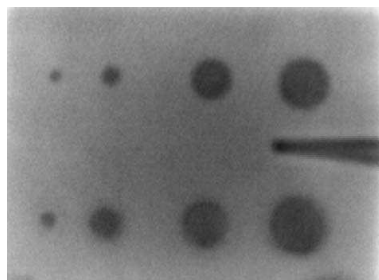


图 6 配准后的效果图

如何根据随机产生的种群和配准要求确定自适应概率中的四个参数, 是下一步要重点解决的问题。同时, 本文对图像配准技术中各个方面的研究还不够深入, 实验样本不够丰富, 还有待于进一步提高。将遗传算法应用于热波图像配准领域也仅仅局限于模板匹配中参数的优化。可以肯定的是, 随着遗传算法和热波图像配准技术理论研究的不断深入, 遗传算法因具有特有的自适应、并行和全局搜索等特点, 在热波图像配准领域必将具有十分广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 李玲玲, 黄其民, 李保. 多传感器图像配准方法综述 [J]. 光盘技术, 2007, 13(2): 6-7.
- [2] 陈显毅. 图像配准技术及其 MATLAB 编程实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [3] 强赞霞, 彭嘉雄, 王洪群. 基于傅里叶变换的遥感图像配准算法 [J]. 红外与激光工程, 2004, 33(8): 385-388.
- [4] 雷英杰, 张善文, 李续武, 等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [5] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [6] 蔡自兴, 徐光裕. 人工智能及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.