

利用遗传算法实现不同遥感影像的河道信息自动提取^①

黄 河, 范一大, 杨思全, 王 磊, 王 平

(民政部国家减灾中心, 北京 100124)

摘 要: 凌汛遥感监测需要获取发生凌汛河段的整体信息,然而单幅遥感影像很难覆盖发生凌汛的所有河段,多幅遥感影像之间又存在着不同的尺度缩放和变形,其上的河道信息无法直接拼接使用. 为了获得整条河流的凌汛信息,必须进行河道信息的自动提取和拼接. 首先从理论上分析了不同尺度遥感图像上河道的特征,建立了不同尺度遥感影像上河道对应点之间的数学变换模型,然后利用遗传算法对变换参数进行优化求解,实现了不同尺度河道信息的最小化偏差拼接. 从处理的结果看,该算法具有较强的稳定性,收敛速度较快. 该算法还可以用于不同尺度遥感影像上其他地理特征的拼接与整合.

关键词: 遥感图像处理; 河道融合; 非线性参数优化; 遗传算法

River Channels Extracting in Remote Sensing Images of Different Scale Based on Genetic Algorithm

HUANG He, FAN Yi-Da, YANG Si-Quan, WANG Lei, Wang Ping

(National Disaster Reduction Center, Beijing 100871, China)

Abstract: It is a crucial step in ice flood monitoring to retrieve river channels from remote sensing images. However, it is often the case that one image cannot cover the whole flooded channels, and several images are usually of different scale and deformation. Consequently they cannot be put together directly to form the whole flood channel. In order to get information of the whole ice flood sections, river channels fusion must be used. Features of river channels in remote sensing images of different scale are analyzed in this paper at first, and then the transformation model of point coordinates in different images is established. Parameters in the mathematical model are solved using the genetic algorithm, and river channels in different images are fused together. The genetic algorithm is stable and converges fast according to the processing result. This algorithm also can be adapted to other features fusion in remote sensing images.

Key words: remote sensing image processing; river channels fusion; nonlinear parameters optimization; genetic algorithm

处于高纬度地区的河流易发生凌汛,我国的黄河、黑龙江和松花江等在冬季封河期和春季开河期极易发生凌汛^[1,2]. 国家每年都会投入大量的人力和财力用于凌汛的预警和监测. 然而常规依靠人力实地监测范围有限,效率低下,成本极高. 依靠遥感图像解译的方法能够方便地提取遥感影像上的河道信息,利用遥感监测手段可以方便地识别发生凌汛的河段,从而极大提高凌汛的监测效率,节省人力和物力成本^[3-5].

然而,虽然遥感影像的幅宽已达到几百千米,但单张依然很难完全覆盖整条河流. 为了获取整条河流

的凌汛信息,必须进行遥感影像的自动提取与拼接. 而且通常为了获得发生凌汛的河段的全方位信息,通常需要进行多尺度多源遥感影像的融合. 对于同一个遥感传感器获取的多幅遥感影像,其拍摄时传感器的姿态存在着差异,每幅遥感影像的投影中心均不相同,几何形变也不相同,因此无法直接拼接. 对于多源遥感影像,影像之间除了存在尺度和几何变形方面的差异外还存在不同遥感数据源的数据同化问题. 要全方位掌握发生凌汛的河道的信息,必须对多源多尺度遥感影像进行信息提取.

① 基金项目:国家自然科学基金青年基金(41301590)

收稿时间:2014-04-19;收到修改稿时间:2014-06-03

遥感信息提取是遥感图像处理和信息分析中的一个十分重要的问题^[6,7]。它首先对不同空间分辨率,不同时间和谱段的遥感数据进行提取和分析,在此基础上实现优势互补和冗余控制,获取最符合应用需求的遥感数据,从而为决策提供最全面的信息支持。遥感影像上河道信息的自动提取属于专题遥感信息的处理。它已经提取出来的河道为研究对象,通过特征分析建立不同尺度遥感影像上河道提取与拼接的模型及算法,从而实现河道的自动拼接。目前关于专题河道信息处理的算法研究较少,能检索到的文献更少^[8,9]。而关于整幅遥感影像之间的拼接研究较多,常用的算法包括基于模板的图像拼接方法^[10],基于图像相位相关的图像拼接方法^[11]和基于特征点配准的图像拼接方法^[12]等。这些方法通都是基于全图特征的图像配准与拼接技术,而对连续的信息(如河道)考虑不足,容易带来局部的特征变形和匹配不准现象。

本文以多尺度遥感影像上河道为研究对象,通过对影像上河道的形状特征进行分析,建立了不同尺度遥感影像上河道对应点之间的数学变换模型,然后利用具有自学习和自适应性的遗传算法对变换参数进行优化求解,得到各区域图像之间的变换参数,实现了不同尺度河道信息的自动拼接。从河道提取的效果看,本算法稳定性较高,收敛速度较快。

1 单幅遥感影像上河道的提取

1.1 河道坐标的提取

在一般的遥感影像中,河道信息包含在众多地形地貌和云层信息之中,通过多波段遥感影像的对比分析可以方便地将河道提取出来^[13]。图 1 为 2011 年 2 月 15 日由国家民政部减灾中心获得的山东东营段黄河凌汛的遥感监测图,它们都是由不同波段的遥感影像的伪彩色图像。两段发生凌汛的河段已经在图 1 上分别用黄色标注,其中(a)和(b)分别是两幅遥感影像提取出的两段黄河凌汛图,它们之间存在着尺度的变形和旋转,无法直接拼接使用,这给全面了解整条河流的凌汛信息、协调安排对应的减灾救灾工作带来极大的不便。

为了全面掌握整条河流的凌汛信息,统一部署整条河流的防凌工作,必须将不同区域的凌汛河段拼接起来进行综合分析。现有的遥感图像处理技术已经能够方便地将遥感影像上发生凌汛的河段提取出来^[14,15],

而对于不同传感器获得的不同尺度遥感影像的河道自动拼接提取问题还没有成熟的解决办法。因此,本文将直接从不同尺度的遥感影像上提取出来的河道信息为研究对象,利用改进的遗传算法建立不同尺度河道信息的自动拼接方法。



(a)山东东营上段凌汛图 (b)山东东营下段凌汛图

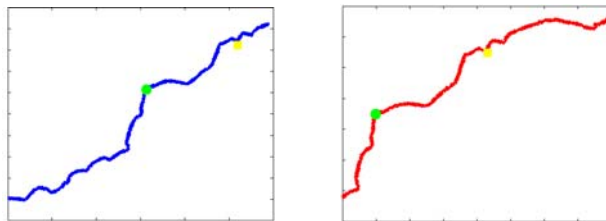
图 1 2011 年 2 月 15 日山东东营段黄河凌汛遥感监测图

1.2 河道的跟踪与连接

在遥感影像上的河道信息提取出来之后,就需要对河道进行连接和跟踪,以便后续的拼接处理,同时要防止河道提取过程中的出现的断点和交叉情况。

在单幅遥感影像上,河道通常会贯穿遥感影像并从其某几条进出该区域。因此我们首先从一条边开始找到河道位置,再从该点出发查找其临域内灰度值与该点相近的点的坐标。由于河流是连续的,代表河道的曲线也是连续的,因此这些灰度值相近的点中与原方向最接近的点即为河道下一点的位置,并按照这一原则循环操作直至到达河道与边界相交的另一位置,这样便完成了一景遥感影像上河道河流的跟踪与连接。在这个过程中如果出现边界断点,则通过二次曲线拟合的方法将同一条边上相邻的两点连接起来。

经过提取跟踪和连接,遥感影像上的河道呈现出上下两条边界的完整曲线,由于上下两条边界的跟踪和连接过程完全相同。因此本文以下的河道自动提取过程仅针对其中的一条边进行。图 2 为经过跟踪和连接得到的两段河道的边缘信息,从图中可以看出,(a)、(b)两段河道之间存在着旋转、平移和缩放。



(a)东营上段河道提取结果 (b)东营上段河道提取结果图

图 2 从不同遥感影像上提取出的具有重叠区域的上下游两段河道

2 不同遥感影像上河道的自动拼接

2.1 不同遥感影像上河道拼接的数学模型

为了使不同尺度的河道信息通过信息融合的方法拼接起来, 两段河道之间必须存在重叠部分, 通过选择具有部分重叠覆盖河段的遥感影像来满足. 在忽略高阶形变的前提下可以将这些差异抽象为图像之间的旋转、平移和等比例缩放的变换, 其数学表达如式(1)所示:

$$\begin{cases} x = k(x' \cos \theta - y' \sin \theta) + x'_0 \\ y = k(x' \sin \theta + y' \cos \theta) + y'_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中 (x, y) 和 (x', y') 分别表示图 2 中(a)、(b)两段河道公共点的坐标, (x'_0, y'_0) 表示两个坐标之间的平移变换部分; k 表示两组坐标之间的等比例缩放因子; θ 表示两组坐标间的旋转变换. 河道自动拼接的目标就是要寻找这两段河道之间的变换因子 x'_0, y'_0, k 和 θ , 从而将两段河道连接起来.

从式(1)可以看出, 基于河道公共点建立面向不同尺度的河道之间变换方程组为非线性方程组. 对非线性方程组的优化求解问题通常可以分为两类^[16,17]: 一类是对非线性方程组进行线性化操作, 将非线性方程组转化为线性方程组, 然后再对线性方程组进行优化求解. 另一类是直接采用非线性优化的方法进行全局搜索, 通过多次迭代获取该非线性方程组的最优解. 由于非线性方程在线性化的过程中不可避免地会引入系统误差, 因此使用非线性优化方法直接求解通常精度较高. 在非线性方程最优化求解方法中遗传算法具有精度高、收敛速度快, 可以有效避免局部极值, 因此本文采用遗传算法对该河道自动拼接过程中所需要的变换参数进行优化求解.

2.2 遗传算法的理论模型

遗传算法是由 J.Holland 教授在 1975 年提出的最优化搜索求解方法^[18,19]. 它通过模仿生物界中生物进化过程中“物竞天择、适者生存”的原则来构建相应的算法, 通过杂交迭代来寻求最优化问题的解^[20]. 遗传算法是一种高效、智能、具有自适应和自学习功能的进化算法, 是当前线性和非线性规划问题求解的主流方法之一. 其优化求解过程如下: (1)初始化: 根据任务需求随机生成若干个体作为初始样本, 并定义进化终止条件; (2)个体评价: 根据设定的目标评价函数评价个体的适应度; (3)父本选择: 依据个体的适应度和

父本选择算法对个体进行选择运算, 产生出用于杂交的下一代个体的父本个体; (4)特征遗传: 根据遗传算法对选择出来的父本, 按照一定的概率, 采用不同的交叉算子进行交叉操作, 进行杂交遗传并产生下一代的个体; (5)特征变异: 在父本的特征遗传过程中需要引入相应的变异机制, 比如按照一定变异概率, 为个体注入新的特征. (6)循环迭代: 重复(2)-(4)直到达到进化终止条件.

交叉算子是遗传算法区别其他进化算法的重要特征, 决定了遗传算法的搜索能力, 并在遗传算法中起来非常关键的作用. 在遗传算法中, 交叉算子的设计实现与具体研究任务关系密切. 对于交叉算子来说, 一般要求其尽可能多的表现父本中的优良信息, 同时要为子代引入新的信息. 目前常用交叉算子的选择策略主要包括单点交叉如图 3(a)所示、两点交叉、多点交叉和均匀交叉如图 3(b)所示等^[21]. 研究表明, 单点交叉算子操作简单但搜索能力弱; 两点或多点交叉算子与单点交叉比较, 其搜索能力并没有明显提高^[22]; 均匀交叉算子能产生较好的新个体且对破坏能力比较小, 比多点交叉具有更好的搜索能力^[21].

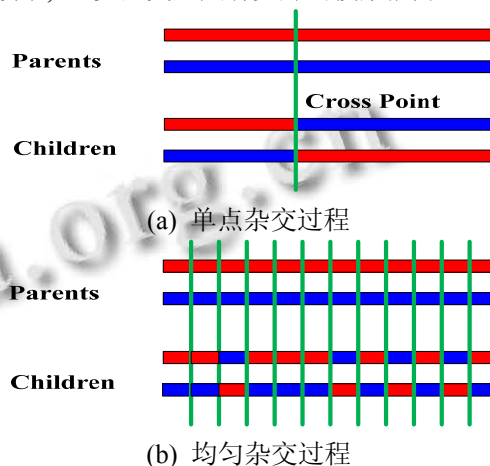


图 3 两种父代杂交过程原理图

2.3 基于均匀交叉算子的河道自动拼接算法

两段河道之间的变换因子 x'_0, y'_0, k 和 θ 是进行河道自动拼接的关键. 根据遗传算法基本原理, 本文定义个体为一个包含 (x'_0, y'_0, k, θ) 四个变量的向量, 即为两段河道之间的变换因子. 个体适应度函数定义为重叠区域河道对应点之间欧式距离. 为了简化运算, 去掉欧式距离运算中的开方, 如式(2)所示.

$$F = \sum_l [(x - x')^2 + (y - y')^2] \quad (2)$$

其中, 公共(2)中的 (x, y) 和 (x', y') 分别表示两段河道重叠部分的二维坐标, 与公式(1)中的含义一致。

本文中父本的选择不仅考虑个体的适应度, 同时考虑其代表性. 适应度高和代表性广的父本个体被选择为参与遗传的概率大. 这对避免算法优化过程陷入局部极值有重要的意义. 父本选择采用概率函数的形式, 个体被选择的概率与其适应度函数存在如下关系, 其中 F_i 代表个体的适应度函数, 由公式(2)获得.

$$P(F_i) = 1 - F_i / \sum_j F_j \quad (3)$$

本文父本特征遗传过程采用均值交叉机制, 如图 3(b)所示. 即子代每一点的特征以 50% 的概率取两条父代中相应点位的基因. 该杂交过程虽然复杂, 但得到的子代具有更大的变异性, 并具有较好的搜索能力^[21]. 对于变异过程, 在产生出的子代中以一定概率 P 在任意一个基因位点处产生随机突变, 以引进新的特征量.

基于均匀交叉算子的河道自动拼接算法流程见图 4. 如图 4 所示, 本文算法流程为: 1) 首先从河道公共部分随机生成 N 个样本个体, 并设定进化终止条件, 其中 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 为来自图 2(a)中的随机点, $(x_1', y_1'), (x_2', y_2') \dots, (x_n', y_n')$ 分别来自图 2(b)中的随机点; 2) 利用公式(2)计算每个样本个体的适应度函数, 并判断是否满足进化终止条件, 如果满足则结束, 如果不满足则进行下一步; 3) 根据计算样本个体适应度函数和公式(3)计算的个体概率选择参与遗传杂交的父本个体; 4) 参与遗传杂交父本个体采用均匀杂交算法, 父本个体的均匀杂交过程由随机数控制, 根据生成的随即数决定两个个体对应参数的选择比例, 变异算法采用均匀概率生成的随机数; 相加得到子代对应的参数, 从而构成新的个体; 5) 利用公式(2)计算新个体的适应度, 并判断是否满足进化结束条件, 当满足结束条件则退出, 如果不满足进化结束条件, 则循环至根据适应度函数判断是否满足终止条件, 实现根据适应度函数进行循环迭代。

3 结果分析

利用本文所提出的基于均匀交叉算子的遗传算法, 采用 Matlab 语言编写了对应的遗传算法, 在联想 Thinkpad X201i 平台上对图 2 中的两段河道进行自动

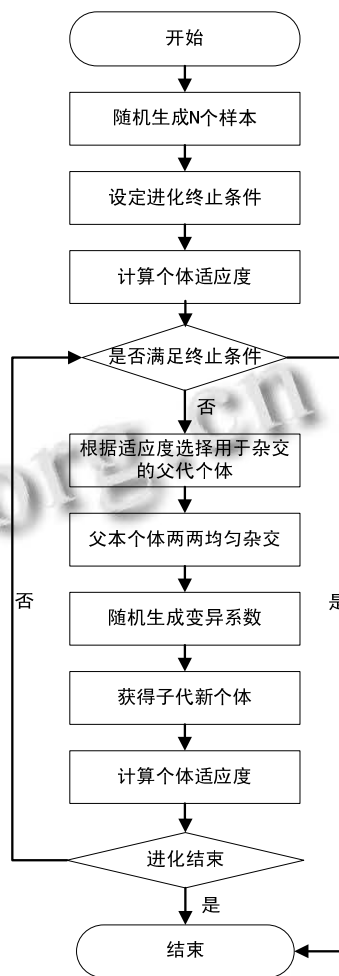


图 4 河道自动拼接遗传算法求解流程

拼接参数求解。

图 2 中两段河道自动拼接过程如图 5 所示. 其中图 5(a)表示两段河道的初始状态, 两条河道之间即存在重叠部分, 又存在较大的差异部分; 经过 10 次迭代两段河道的位置如图 5(b)所示, 经过平移变换, 两段河道的位置已经比较接近; 经过 25 次迭代两条河道的位置已经对准, 如图 5(c)所示; 经过 66 次迭代两段河道已经基本重合, 如图 5(d)所示; 经过 90 次迭代两段河道已经完全重合, 如图 5(e)所示. 从整个迭代匹配的结果看, 基于遗传算法的河道自动拼接算法具有较快的收敛速度和较好的收敛精度。

经过 90 次迭代之后, 得到图 2 中两段河道之间的变换参数为如式(4)所示, 其中 x_0', y_0' 的单位为像素, k 的单位是 1, θ 的单位为度. 从迭代的结果看, 两段河道之间主要存在平移, 整体旋转尺度缩放并不明显, 而造成两段河道之间旋转和尺度缩放的主要原因是成

像视角的不同.

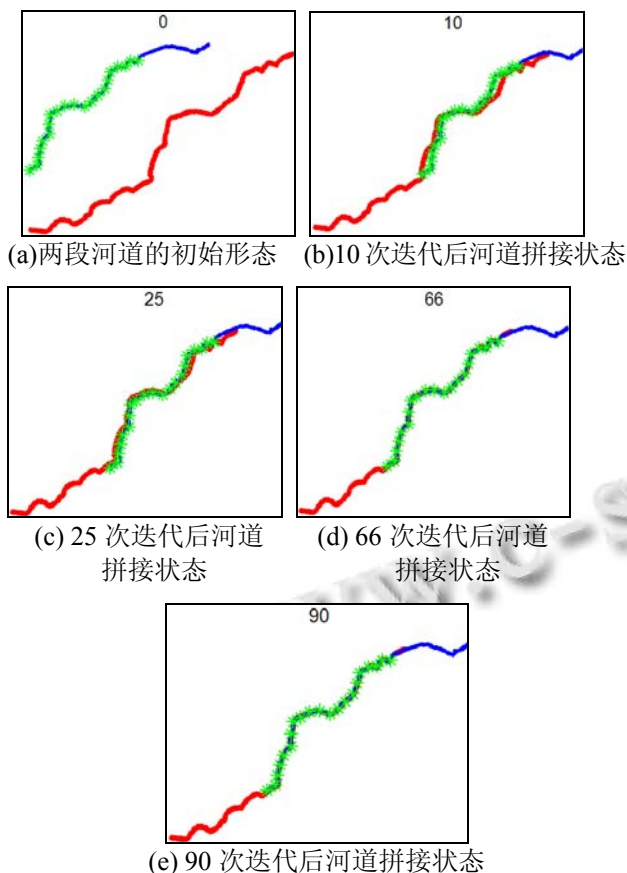


图 5 基于遗传算法的两段河道自动拼接过程



图 6 2011 年 2 月 17 日东营河段凌汛遥感监测图

$$\begin{cases} x_0' = -45.2425 \\ y_0' = 526.8179 \\ k = 1.2 \\ \theta = -3.3747 \end{cases} \quad (4)$$

对图 2 中两段河道自动拼接参数求解结果表明,

本文的算法在上述硬件环境条件下, 迭代 90 次耗时 46.59 秒; 可见遗传算法在保证收敛精度的同时, 还具有较高的收敛速度.

根据河道的自动拼接结果制成的黄河凌汛山东东营河段的遥感监测图如图 6 所示, 最后监测结果表明该区段总封河长度达 181.3 公里.

4 结论

本文采用遗传算法对不同尺度的遥感影像上的两段河道进行自动拼接参数优化求解, 得到了两段河道的最佳拼接参数, 实现了不同尺度遥感影像上河道的自动拼接. 该方法具有收敛精度高, 速度快, 是比较理想的河道自动提取算法. 采用该方法得到的河道提取结果为全面了解河流的凌汛信息布置对应的防灾减灾工作提供了丰富的信息.

参考文献

- 1 赵锦,何立军,慧萍,杨军.黄河宁蒙河段凌汛灾害特点及防御措施.水利科技与经济,2008,14(11):933-935.
- 2 于成刚,周连芳,董晓梅.黑龙江凌汛最高水位及冰坝预报模型.黑龙江水专学报,2006,33(2):49-52.
- 3 刘良明,徐琪,周正,叶沅鑫.利用 HJ-1A/1B CCD 数据进行黄河凌汛监测.武汉大学学报·信息科学版,2012,37(2):141-145.
- 4 许志辉,刘良明.MODIS 动态监测黄河宁蒙河段凌汛的技术与方法.水利水电技术,2007,38(9):58-61.
- 5 李亚伟,陈守煜,韩小军.基于支持向量机 SVR 的黄河凌汛预报方法.大连理工大学学报,2006,46(2):272-275.
- 6 贾永红,李德仁,孙家柄.多源遥感影像数据融合.遥感技术与应用,2000,15(1):41-44.
- 7 乔玉良,尚彦玲,魏信.遥感图像融合方法研究.气象与环境科学,2010,33(1):73-76.
- 8 干嘉元,王荣华,过仲阳.利用航空遥感图像进行河道自动提取的方法研究.上海地质,2007,101(1):67-70.
- 9 冯晋涛,周新志.薄云覆盖下山区河道水体遥感影像提取方法研究.人民长江,2010,41(21):14-17.
- 10 Goshtasby A, Gage SH, Baitholic. A two-stage crosscorrelation approach to temple matching. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(5): 374-378.
- 11 Reddy BS, Chatterji BN. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration. IEEE Trans. on Image Processing, 1996, 5(8): 1266-1271.

- 12 Zitova B, Flusser J. Image registration methods: A survey. *Image and Vision Computing*, 2003, 21: 977–1000.
- 13 李博,周新志.基于 MODIS 数据的川西山区河道水体提取方法研究. *地理与地理信息科学*, 2009, 25(2): 59–62.
- 14 刘旭拢,钟凯文,陈志良,黄建明,刘万侠.基于 TM 影像的珠江三角洲河道快速提取方法研究. *遥感技术与应用*, 2008, 23(1): 57–61.
- 15 钟凯文,刘万侠,黄建明.河道演变的遥感分析研究以北江下游为例. *国土资源遥感*, 2006, 69(3): 69–73.
- 16 Gould NIM, Leyffer S, Toint PL. A multidimensional filter algorithm for nonlinear equations and nonlinear least-squares. *Siam Journal on Optimization*, 2004, 15(1): 17–38.
- 17 Jaberipour M, Khorram E, Karimi B. Particle swarm algorithm for solving systems of nonlinear equations. *Computers and Mathematics with Applications*, 2011, 62(2): 566–576.
- 18 王小平,曹立明.遗传算法:理论应用与软件实现.西安:西安交通大学出版社, 2002.
- 19 Forrest S. Genetic algorithm-principles of natural-selection applied to computation. *Science*, 1993, 261(5123): 872–878.
- 20 李险峰,董绍华.改善收敛早熟的混合遗传算法. *计算机系统应用*, 2011, 20(8): 224–227.
- 21 李书全,孙雪,孙德辉,边伟朋.遗传算法中的交叉算子的述评. *计算机工程与应用*, 2012, 48(1): 36–39.