

基于不动点计算的岸线动态分析方法

宋平舰^{①②③④} 张杰^{②④} 宋玮^②

^①(中国科学院自动化研究所 北京 100080)

^②(国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

^③(中国科学院研究生院 北京 100039)

^④(海洋环境科学与数值模拟国家海洋局重点实验室 青岛 266061)

摘要 现有地理信息系统对于海岸线这一独特线对象的动态变化缺乏有效的管理和分析手段。针对该问题,该文引入不动点的概念,基于现有地理信息系统设计了一种基于不动点计算的岸线动态分析方法,达到分析海岸淤进或蚀退动态变化的目的,进而实现岸线动态变化的自动分析功能。文章对真实的黄河口岸线数据进行了实验分析,证明了基于不动点计算的岸线动态分析方法的有效性。

关键词 地理信息, 岸线, 淤进, 蚀退, 不动点

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)01-0072-04

A Dynamic Analysis Method of Coastline Based on the Computation of Stationary Points

Song Ping-jian^{①②③④} Zhang Jie^{②④} Song Wei^②

^①(Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

^②(First Institute of Oceanography, SBO, Qingdao 266061, China)

^③(Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

^④(Key Lab of Marine Science and Numerical Modeling, SBO, Qingdao 266061, China)

Abstract Current GISs lack efficient management and analysis functions for coastline dynamic changes for coastline is a special line object. In order to resolve this problem, the concept of stationary points is introduced, and a coastline analysis method is put forward based on current GISs. Through analyzing stationary points, the dynamic changes of coastal siltation or erosion can be obtained. Thus, the analysis of coastline changes can be accomplished automatically. In this paper, experimental analysis is performed on the real coastline data of Yellow River Mouth, which turns out that this dynamic analysis method is valid.

Key words Geographic information, Coastline, Siltation, Erosion, Stationary points

1 前言

海岸线作为海岸带最重要的要素之一,标识了该地区的水陆分界线,蕴含了丰富的环境信息。岸线对沿海的滩涂面积、湿地生态系统衰退等具有重要的指示作用;对于经济发展、人类生产和生活,同样具有重要的意义。由于自然及人为因素的影响,近几年海岸线变迁加快,产生了很多问题,这使得人们日益重视对海岸变化的监测和分析工作。

最初的岸线变化研究是通过历史海图、地形图和实测调查综合对比分析进行的,后来有人采用遥感图像的解译或检测结果来分析岸线的动态变化^[1]。庞家珍等^[2]基于地图和实

测数据的历史资料进行了黄河口岸线变化的分析;Petrie^[3]等利用航空照片进行岸线变化监测与制图;Barbosa等^[4]利用Radarsat-1影像在巴西Paraiba南部地区进行海岸带侵蚀制图;El-Raey等^[5]计算了不同日期图像的比值,加强了岸线变化的图像显示。

现在,随着GIS(Geographic Information System)技术的引入,在某种程度上提高了岸线分析的效率和准确性。赵锐等^[6]为了监测长江三角洲岸线的摆动及河床变迁,采用多时相的航空照片、卫星影像与地图相结合,借助ARC/INFO软件,将3个时段的淤积岸和侵蚀岸分别采用不同的注记和颜色,鲜明地反映长江三角洲变迁。赵庚星等^[7]在ARC/INFO支持下将不同时相的岸线解译图按照确定的图幅控制点进行叠加,分析显示其空间变化图,并从其属性库中自动统计出各个时期的淤积和侵蚀面积。孙凌等^[8]则初步建立了岸线

2004-12-17 收到, 2005-07-18 改回
国家高技术研究发展计划(2002AA135350)及国家海洋局青年海洋科学基金(2003502)资助课题

监测的应用系统。

但是现有的地理信息系统缺乏对空间数据的时态分析功能, 普通的线对象不能很好地体现岸线的独特属性。比如要分析岸线的淤进量或蚀退量, 必须首先人工指定岸线交叉所成的目标多边形, 待系统将其转化成面对象后方可进行计算、查询等操作, 十分不便。而且还不能自动判断岸线的变化类型, 即不能自动判别岸线的变化是淤进变化还是蚀退变化。因此, 目前 GIS 的应用主要限于专题制图或人工辅助分析, 难以直接、自动地支持对岸线的动态分析。

为了解决这个问题, 需要针对岸线的动态分析特点研究新的 GIS 分析方法。分析动态变化的信息首先应该有不变的基准。由于在通常情况下, 淤进和蚀退的变化是同时存在的。因此, 这种进退变化中间必然存在不变量, 该不变量可以理解为地理空间上的不动点。基于此, 本文提出了“不动点”的分析方法, 即通过对这些不动点的分析和记录, 把握整个岸线的动态变化信息。

围绕这个思路, 本文首先给出了“不动点”的概念, 然后论述了基于不动点计算的岸线动态分析方法, 最后介绍了本方法与现有 GIS 的集成技术和应用示例。

2 “不动点”概念

在岸线的动态分析过程中, 可以把岸线看成是由许多的折线段构成, 不同时刻对应着不同的线段族。线段之间的拓扑关系包括相交、包含、重合、相离。根据线段之间的这些拓扑关系, 研究任意两个不同的时刻 t_1, t_2 对应的曲线(由不同的线段族构成), 使得岸线的动态分析可以直接对线对象操作, 对它们之间的变化情况, 即对两条曲线围成的面积情况进行分析, 达到分析岸线淤进变化或蚀退变化的目的。

首先引入“不动点”的概念: 本文定义的“不动点”是任意两个不同时刻 t_1, t_2 对应的线段族的交点, 这些交点在这两个时刻位置是不变的。根据需要, 接着又引入了绝对不动点的概念, 即在研究岸线的动态变化之前, 先假定存在两个不会随时间的变化而变化端点, 这两个点也就决定了岸线变化的分析范围, 我们把这样的两个端点称为绝对不动点。

假定任意两个不同的时刻 t_1 和 t_2 , t_1 时刻对应的线段族的端点构成的集合记为 $A: A=\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, t_2 时刻对应的线段族的端点构成的集合记为 $B: B=\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ 。不动点集合 $C: C=\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, 是 t_1 和 t_2 时刻线段族交点的集合。根据绝对不动点的定义, 应该有 $A_1=B_1, A_n=B_n$ 。如图 1 所示。

3 算法介绍

根据前一节提到的不动点定义, 对岸线的动态分析实际可转化为对不动点之间多边形性质与面积的分析。本文给出了两不动点之间多边形的确定和面积计算方法, 并基于此提

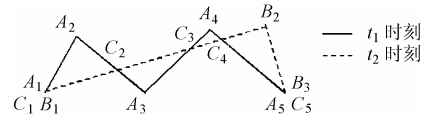


图 1 集合 A, B, C 的关系

Fig. 1 Relationship of sets A,B,C

出了岸线动态分析的算法流程, 具体如下所述:

3.1 确定两不动点之间多边形

(1) 定义 定义在 t_k 和 t_{k+1} 时刻, 设有两个连续的不动点为 C_w 和 C_{w+1} , C_w 为线段 $X_i X_{i+1}$ 和 $Y_j Y_{j+1}$ 的交点, C_{w+1} 为线段 $X_u X_{u+1}$ 和 $Y_v Y_{v+1}$ 的交点($u \geq i$)。对应情况如表 1 所示。

表 1 不动点对应的两时相的岸线线段

交点	t_k 时刻线段	t_{k+1} 时刻线段
C_w	$X_i X_{i+1}$	$Y_j Y_{j+1}$
C_{w+1}	$X_u X_{u+1}$	$Y_v Y_{v+1}$

(2) 多边形的预确定 (a) C_w 一定是多边形的起点; (b)先考虑 t_k 时刻的线段, 只要 $X_{i+1} \neq X_{u+1}$, 说明 $X_i \neq X_u$, 则按照顺序写入 $C_w + X_{i+1} \dots X_u$; 如果 $X_{i+1} = X_{u+1}$, 则不写入 t_k 时刻的任何线段端点 X , 直接转入步骤(d), 最后写入 C_{w+1} ; (c)写入后一个不动点 C_{w+1} ; (d)再考虑 t_{k+1} 时刻的线段, 只要 $Y_{j+1} \neq Y_{v+1}$, 说明 $Y_j \neq Y_v$, 则按照逆序写入 $C_w \dots Y_v \dots Y_{j+1}$; 如果 $Y_{j+1} = Y_{v+1}$, 则不写入 t_{k+1} 时刻的任何线段端点 Y , 则多边形的预确定结束。

(3) 多边形压缩 由于预确定的多边形中可能存在重合的点, 所以要对其进行压缩, 去除那些重合的点, 得到最终需要的多边形。如果最终得到的多边形边数(即节点的点数)小于 3, 则该多边形为一虚多边形, 实际上应该为一条线段或者一个点。因此, 在这种情况下不存在蚀退或者淤进的情况, 所以该虚多边形不予考虑。具体在多边形数据结构中引入 flag 标志: 如果 flag 为真, 则表示为真的多边形; 相反, 如 flag 为假, 则表示为一个虚多边形。

3.2 采用多边形求两不动点之间面积

如图 2(a)中的 C_7 到 C_8 段之间的岸线, 对应的顺序岸线点在 x 轴方向上是递增的。我们求两个不动点之间蚀退面积或淤进面积, 可以简单地通过求两个不同时刻的岸线与 x 轴之间的面积差而得到。如图 2(b)中所示, 求 C_7 与 C_8 之间的面积, 只要求出线段 $C_7 B_4 - B_4 C_8$ 与 x 轴之间的面积 ΔS_2 和 $C_7 A_7 - A_7 C_8$ 与 x 轴之间的面积 ΔS_1 , 这样, 不动点 C_7 与 C_8 之间的面积 ΔS 为 $\Delta S = \Delta S_2 - \Delta S_1$ 。

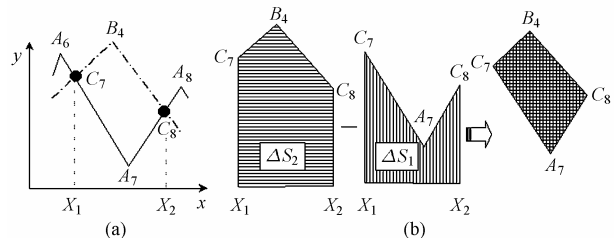


图 2 南北变化的岸线的分析

Fig. 2 Coastline analysis on south-north changes

如果出现图 3 这种情况, 即岸线点的 x 轴坐标不总是递

增的, 欲求 C_2 与 C_3 之间的面积, 则需要求出 $C_2B_2 - B_2C_3$ 和 $C_2A_3 - A_3C_3$ 与 y 轴的面积差, 而不是 x 轴之间的面积差。

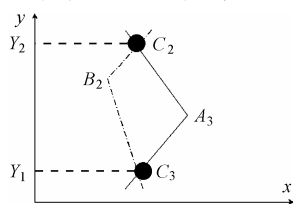


图3 东西变化的岸线的分析

Fig. 3 Coastline analysis on east-west changes

3.3 岸线动态分析的过程

给定一条岸线, 应该同时给定岸线两侧的属性, 即应该给出岸线的哪一边是陆地。这样就为岸线淤进或蚀退的判断定义一个参考基准。在此基础上, 岸线动态分析的过程主要分为以下6步, 图4给出了岸线动态变化的分析流程图。

(1) 首先, 读入两条岸线的采样点数据: t_1 时刻各点的位置信息, 用 A_1, A_2, \dots, A_n 标识; t_2 时刻各点的位置信息, 用 B_1, B_2, \dots, B_m 标识。根据绝对不动点的定义应有 $A_1 = B_1$, $A_n = B_m$ 。

(2) 求出两条岸线的交点, 该交点定义为不动点。记录所有的不动点, 用 C_1, C_2, \dots, C_p 标识。

(3) 求当前不动点和前一个不动点之间的多边形。

(4) 依次求出每一个不动点与前一个不动点之间的多边形面积, 将计算的面积记录到相应的不动点中(其中, 面积为正表示淤进, 面积为负表示蚀退)。

(5) 根据计算得到的多边形面积, 算出总的淤进面积(所有正值)和总的蚀退面积(所有负值), 并把它存在相应的绝对不动点。

(6) 根据上面的记录, 可以方便地确定目标区域任意一个时间段内岸线的变化类型: 蚀退或者淤进, 并得出岸线蚀退面积、淤进面积以及变化的总面积。

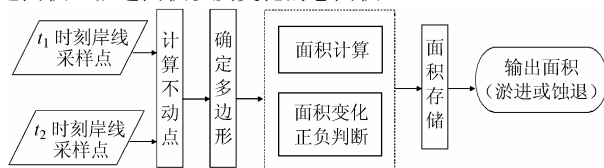


图4 岸线动态变化的分析流程

Fig. 4 Analyzing process of coastline dynamic changes

4 岸线信息查询分析及实现

本文所研制的不动点算法能够有效地、自动地进行岸线面积的动态变化分析。利用GIS软件所具有的二次开发功能, 用户可以将此功能模块直接嵌入到现有的GIS软件中。

4.1 岸线信息查询功能实现

这里, 采用ARC/INFO软件实现岸线查询分析结果的显示和标注。

经过配准和采样的岸线采样数据以TAB文档的形式输入, 经数据转换为DAT文件供岸线动态分析模块读入, 同

时转换为shp文件供ARC/INFO读入, 除此之外, 还要在显示岸线的屏幕中给出陆地一侧的任意一个点作为陆地标志点。岸线动态分析模块根据给出的查询分析条件, 自动进行岸线动态变化查询和分析, 并将查询分析结果以mdb的形式送入ARC/INFO, 由ARC/INFO对结果进行显示和标注。岸线查询分析过程如图5所示。

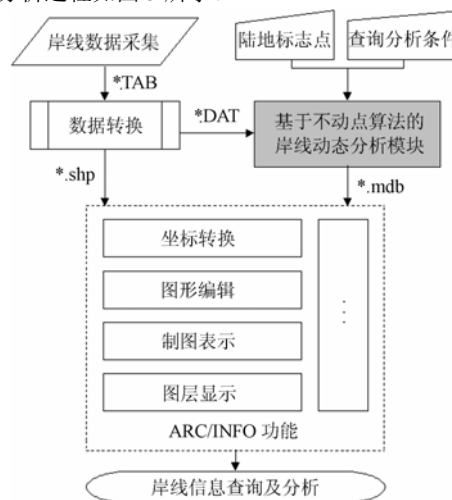


图5 岸线信息查询分析过程

Fig. 5 Coastline information inquiry process

在VC++6.0下, 编程实现岸线动态分析功能, 并封装成完整的模块, 输出到ARC/INFO中对查询分析结果进行显示和标注。具体可以实现表2所示岸线查询分析内容:

表2 可实现的查询内容

查询/显示内容	单位
某时间范围内的岸线	—
指定的研究区域内的某时间范围内的岸线	—
研究区域内两时相岸线的总淤进面积、蚀退面积、变化面积	km ²
研究时间范围内的共造陆量、共蚀退量	km ²
研究时间范围内的年造陆量, 即冲淤速度	km ² /year
研究时间范围内的共蚀退量, 即蚀退速度	km ² /year
指定的两个不动点之间的冲淤方向或蚀退方向	—
研究区域范围内的淤进速度变化或蚀退速度变化	km ² /(year ²)
任意两个时相的岸线侵蚀率、岸线淤进率、岸线稳定率	无量纲
某一特定点的淤进幅度和淤进速率	km ² /year
某一特定点的蚀退幅度和蚀退速率	km ² /year
两个时相岸线间的最大蚀退幅度以及对应点	km
两个时相岸线间的最大淤进幅度以及对应点	km
研究范围内的两个时相岸线间的各段的淤进面积或蚀退面积	km ²
...	...

表 3 查询分析结果

内容	⑧面积	...	11 面积	...	绝对不动点 C_0 和 C_{12} 之间		
					淤进面积	蚀退面积	总变化面积
面积(km^2)	590.44		- 538.80		662.76	- 575.23	87.53

4.2 查询分析实例

选择 1978 年和 1997 年这两个时相的黄河口岸线进行岸线信息的查询分析, 查询分析结果见图 6 和表 3。从结果中, 可以看出系统可以自动区分每段的变化类型, 并直接计算得出每段的淤进量或蚀退量。避免了常规 GIS 叠置分析的繁琐操作。

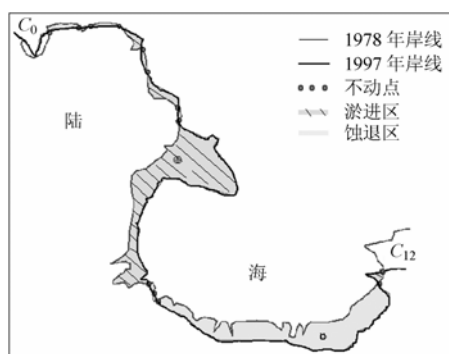


图 6 查询分析实例
Fig. 6 An inquiry case

5 结束语

利用现有的地理信息系统软件可以一定程度地进行岸线的动态变化分析, 但整个过程中需要很多的人机交互, 不能实现对动态信息的系统地管理和分析。本文根据现有地理信息系统在实现岸线动态分析功能方面的欠缺, 提出了“不动点”的概念, 并设计了基于不动点计算的岸线动态分析方法, 可以系统地、自动地实现岸线的动态变化分析。

本文利用实际岸线数据对该算法进行验证, 结果表明了该分析方法的有效性和实用性, 对于不同走向和变化的岸线均能很好地实现岸线变化的分析。并且, 本文以该岸线动态分析模块为核心, 结合现有的 GIS 软件的图层显示和标注功能, 实现了岸线信息的查询分析以及结果的输出。

参考文献

- [1] Bruzzone L, Serpico S B. Detection of changes in remotely-sensed images by the selection use of multi-spectral information. *Int. J. Remote Sensing*, 1997, 18(18): 3883 – 3888.
- [2] 庞家珍, 姜明星, 李福林. 黄河口径流、泥沙、海岸线变化及其发展趋势. *海洋湖沼通报*, 2000, (4): 1 – 6.
- [3] Petrie G. Developments in digital photogrammetric systems for topographic mapping applications. *ITC Journal*, 1997, (2): 121 – 135.
- [4] Barbosa M P, Singhroy V, Jean R S. Mapping coastal erosion in southern Paraiba Brazil from Radarsat-1. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1999, 25(3): 323 – 328.
- [5] El-Raey M, Sharaf El-Din S H, Khafagy A A, et al.. Remote sensing of beach erosion/accretion patterns along Damietta-Port Said Shoreline, Egypt. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(6): 1087 – 1106.
- [6] 赵锐. 长江三角洲地区卫星遥感动态决策咨询系统. *中国航天*, 1999, (4): 6 – 7.
- [7] 赵庚星, 张万清, 李玉环等. GIS 支持下的黄河口近期淤、蚀动态研究. *地理科学*, 1999, 19(5): 442 – 445.
- [8] Sun Ling, Yang Hanying, et al.. Demonstration of coastline dynamic remote sensing monitoring system construction and its application. *Remote Sensing of the Atmosphere, Ocean, Environment, and Space*, Hangzhou, SPIE, 2002, Vol.4892: 33 – 42.

宋平舰: 男, 1975 年生, 博士生, 研究方向为海洋动态信息系统.

张杰: 男, 1963 年生, 研究员, 研究方向为海洋遥感.

宋玮: 女, 1978 年生, 硕士生, 研究方向为海岸带遥感分析.