

基于特征的海洋锋线过程时空数据 模型分析与应用

薛存金^{1,2}, 苏奋振¹, 周成虎¹

(1 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息国家重点实验室, 北京 100101;

2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 客观世界存在时空场, 大部分地理实体或现象在时空域具有动态变化特性, 其空间、时间和属性是过程的统一体, 传统的 GIS 时空数据模型在描述、表达、组织与分析这类数据时面临许多挑战。然而, 基于特征的数据模型和以过程为对象的时空数据组织在动态数据的描述与表达的方面具有独特的优势。本文探讨了基于特征的线过程时空数据模型组织的六元组框架体系, 实现空间、时间和属性的一体化存储和地理实体的动态分析。在分析线时空过程特性的基础上, 归纳总结出 3 大类 12 个类别的线过程, 进一步提出了基于特征的线过程时空数据模型 (Feature-based Line Process Spatio-temporal Data Model) 的概念; 利用文件层次分块结构对时空线过程数据进行了组织与存储。最后以海洋锋为实例, 探讨了该模型在时空数据组织、时空查询、时空过程提取和时空过程可视化等方面的应用。结果表明, 该模型能够很好地应用于具有时空过程特性的线数据中, 也为时空数据模型的总体设计提供借鉴。

关键词: 特征; 线过程时空数据模型; 文件层次分块模型; 海洋锋

1 引言

静态 GIS 经过几十年的发展, 其数据模型在存储和分析静态地理现象方面非常成熟, 已被广泛地应用于各个领域^[1,2]。然而客观世界存在时空场, 大部分现象在时空域具有动态变化的特性, 其属性、功能和关系在空间、时间和时空上是过程的统一体。例如在研究大气水团的相互作用时, 其水团之间的锋面和锋线; 在研究海水入侵时, 海水冲淡水的边界; 海洋领域内的海洋锋面和锋线等。这些现象并不是由一个曲线和曲面所刻画, 而是序列的具有内在联系的过程线和过程面。其锋面和锋线上任意点的属性、功能和关系在时空上均连续变化, 利用目前的时空数据模型描述、表达、组织与存储具有时空过程特性的地理现象面临许多挑战。

近年来, 国内外对时空数据模型进行了大量研究, 尝试描述和表达地理实体和现象的动态特性, 在特定的应用领域取得突破^[3-8]。基于特征和面向对象的时空数据模型从空间认知出发, 把地理实体或现象抽象为地理特征, 用空间信息、属性信息和时

态变化信息三方面来刻画地理特征^[9,10]。该类型的时空数据模型把空间、时间和属性信息以特征的形式进行封装, 易于实现地理实体的时空变化分析, 在地籍动态管理、动态监测和分析方面取得很好的效果^[11]。然而, 部分的地理实体或现象(海洋领域的大量现象)具有实时的动态变化特性, 即具有过程的特性。上述时空数据模型在描述、表达与组织该类地理实体或现象时, 存在着明显不足。比如: 时空分析能力较弱等。

针对上述模型的不足, 苏奋振等提出过程的思想来描述与组织具有实时变化的时空数据^[12], Environment System Research Institute(ESRI)在 2005 年 6 月份全面系统地提出了海洋数据模型试行版 (Marine Data Model Beta), 试图对海洋现象的动态特征进行描述与分析。本文在线模型研究^[13]和面向对象技术的基础上, 提出并设计了基于特征的线过程时空数据模型, 进一步进行线过程时空数据存储、时空数据查询、时空数据抽取、时空插值、时空数值模拟和时空数据可视化等方面的探讨, 旨在实现线过程时空数据内在规律的重现。

收稿日期: 2007-03-15; 修回日期: 2007-08-29.

资助项目: 国家自然科学基金项目 (40571129); 中国科学院创新项目 (KZCXZ-YW-304-1)。

作者简介: 薛存金 (1979-), 男, 山东成武人, 博士研究生, 毕业于武汉大学遥感信息工程学院。主要研究方向: 海洋地理信息系统与时空数据模型, 已发表核心论文 5 篇。E-mail: xuecj@reis.ac.cn

2 特征内涵与面向对象技术

2.1 特征内涵

特征是现实世界中地理实体和现象表达的高度概括和抽象, 是实体表达的基本单元。现实世界中对象由特征来表达, 特征有特征属性和特征操作构成, 而特征实例化构成现实世界中对象实体。特征包括 3 方面内容。(1) 特征包含特征类型和特征实例 2 个层次。特征类型是具有共同属性、功能和关系的地理现象, 是抽象数据类型; 特征实例是特征类型的具体实例化, 具有共同属性、功能和关系的地理实体目标;(2) 特征是空间、时间和时空 3 个维的统一体。只有在空间、时间和时空上分析地理实体的属性、功能和关系, 才能刻画和重现地理实体内在规律;(3) 特征包含属性、功能和关系 3 方面的内容。特征属性记录特征的基本概念; 特征功能是特征的基本操作; 而特征关系则是特征之间的关联机制。

2.2 面向对象技术

面向对象技术中的“对象”基于类的概念, 结合特征具有以下特点:(1) 特征(Feature)是数据模型和数据结构中最基本单元;(2) 特征与对象相对应, 具有唯一标识(FID 和 OID);(3) 类描述特征属性、功能和关系, 用来特征的实例化;(4) 特征与特征之间通过功能进行关联, 构建相互关联的地理实体。

基于特征时空数据模型的基本思想是把特征看作基本单元, 采用面向对象技术设计特征的空间、时间和时空的属性、功能和关系及其实例间的关联。图 1 给出基于特征的时空数据模型框架。

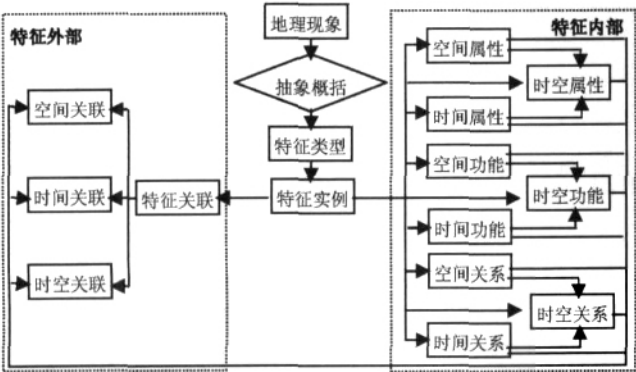


图 1 基于特征时空数据模型框架(据崔伟宏,2004)

Fig.1 The feature-based spatio-temporal data model
(by Cui Weihong,2004)

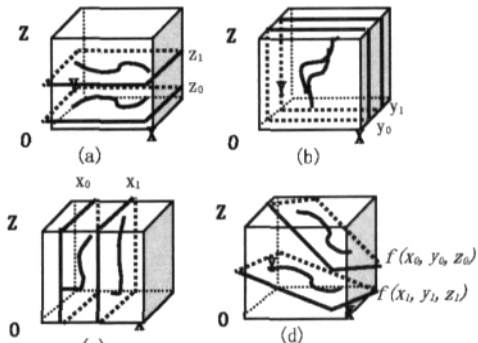


图 2 空间维线过程

Fig.2 Line process in space dimension

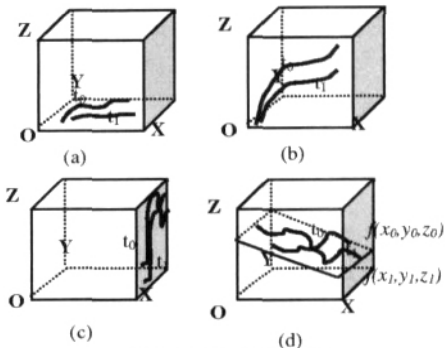


图 3 时间维线过程

Fig.3 Line process in time dimension

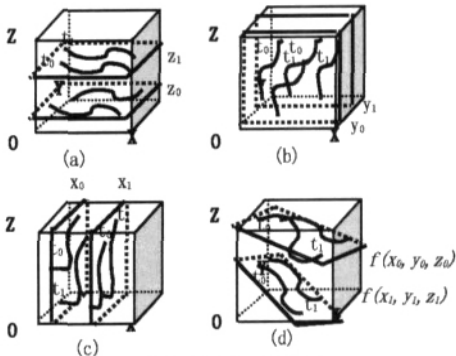


图 4 时空维线过程

Fig.4 Line process in time-space dimension

3 线过程时空数据模型

3.1 线过程数据模型总体框架

现实世界中存在大量的线过程现象, 其属性、功能和关系在空间、时间和时空上是过程统一体, 例如大气水团的交界线、海洋锋锋线和海水入侵的边界线等。目前存在的时空数据模型在设计过程中没有考虑过程本身的内在特性, 从本质上分析还是非时空的^[14], 因而, 无法科学地描述、表达、组织和存储该类型的数据。本文以此类

时空线过程现象作为研究对象,进一步抽象为地理特征,然后采用面向对象技术探讨线过程数据的描述、表达、组织与存储。基于特征的线过程时空数据模型的面向对象描述框架归纳为 6 元组:

<Object: {OID, Space (x, y, z, t), Attributes (a, t), Time (ts, te), Functions, Others}>

其中 Object: 线过程对象,可以是简单的线过程对象,也可以是复杂的线过程对象;

OID: 线过程对象的唯一标识符;

Space: 线过程对象的空间信息(x, y, z)描述,及其随时间 t 变化的空间特性描述;

Attributes: 线过程对象的属性信息(a)描述,及其随时间 t 变化的非空间属性描述;

Time: 线过程对象的时态性描述,记录对象的产生、演变、消亡的生命历程;

Functions: 线过程对象的行为操作描述,定义对象的时间、空间和属性的各种运算操作,实现同类对象或不同类对象之间的相互联系;

Others: 对线过程对象的其他信息的辅助说明,比如对象的完整性约束等。

基于特征的线过程时空 6 元组,不仅实现海洋现象的空间、时间、属性的统一描述与表达,而且能够进一步描述海洋现象及其空间和属性信息的变化。把时空操作作用于特征对象实例,可刻画对象自身的变化;把时空操作作用于空间信息,可刻画对象的空间信息变化;把时空操作作用于属性信息可刻画对象的属性信息变化。把时态信息与时空操作结合起来作用于对象实例,可以刻画对象的历史演变过程;作用于空间信息,可刻画对象的空间信息变化历程;作用于属性信息可刻画对象的属性信息变化历程。

3.2 线过程数据描述

客观世界中线过程是线对象的属性、功能和关系在空间(x,y,z)、时间(t)和时空上的动态变化过程。根据线对象的属性、功能和关系在空间、时间和时空上的变化特性,把客观存在的线过程对象抽象概括为 3 类线过程对象,每一类线过程对象又细分为 4 种线过程类型。(1) 空间维线过程对象。空间维线过程对象是在时间固定不变的前提下,线对象在 X 轴、Y 轴、Z 轴和空间立体上呈现的形态特性,分别如图 2 中(a)、(b)、(c)和(d)所示;(2) 时间维线过程对象。时间维线过程是在固定的 X 轴平面、Y

轴平面、Z 轴平面和空间立体上,线过程产生、发展、成熟和消亡的整个过程,分别如图 3 中(a)、(b)、(c)和(d)所示;(3) 时空维线过程对象。时空维线过程是线过程在 X 轴、Y 轴、Z 轴和空间立体上的产生、发展、成熟和消亡的整个过程,分别如图 4 (a)、(b)、(c)和(d)所示。时空维线过程对象是最为复杂的时空线对象,时空维线过程是由空间维线过程和时间维线过程复合而成,并不是两者简单叠加,它包含了时空关联,刻画了线对象在时空维上的完整过程。

3.3 线过程数据表达与组织

在线过程数据描述的基础上,把线过程对象抽象概括为特征,进一步建立属性、功能和关系在空间、时间和时空上的内部和外部关联。采用面向对象技术对上述的线过程数据进行封装,并采用类的思想方法体系对线过程数据进行表达和组织。从线过程数据的描述分析中,可知时空维的线过程是空间维和时间维的复合,其模型设计最具有代表性。因而,以时空维的线过程为例,讨论线过程数据的表达与组织。

根据类的继承特性,时空维的线过程类 STLineProcess 的继承关系如图 5 所示。

LineObjectClass 是客观世界存在线对象, LineFeatureClass 是客观存在线对象的抽象类; Line

ProcessClass 和 STLineProcessClass 继承 Line

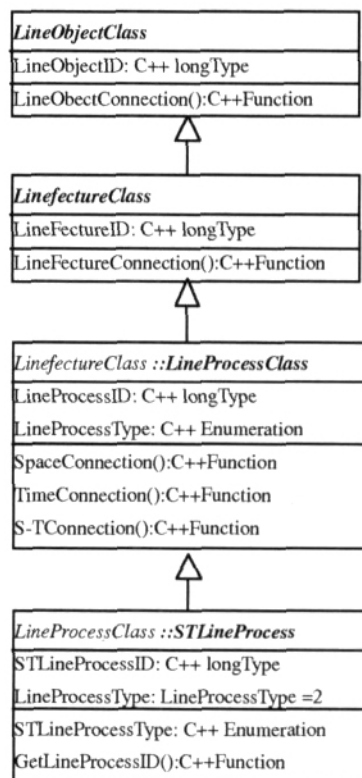


图 5 时空线过程继承关系

Fig.5 The inheritance of S-T Line process

Feature Class, 具有基类的属性和特征。

类 LineProcessType 和 STLineProcessType 是枚举类型的外部类, 分别记录线过程类型(空间维、时间维和时空维)和时空线过程类型(XOY 平面、XOZ 平面、ZOY 平面和 XYZ 立方体)。其枚举类型如图 6 和图 7 所示。

如图 4 分析, 时空维线过程经过理想化的假定后, 可分为 4 种类别的线过程: 3 个平面的线过程和一个立体上的线过程。因而, 根据类的继承, STLineProcsssClass 包括 4 个子类: XOYPlane、XOZ-

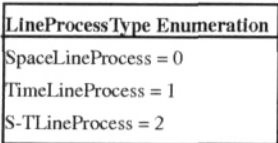


图 6 外部枚举类型

Fig.6 The external enumeration classe

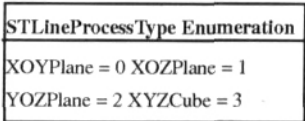


图 7 外部枚举类型

Fig.7 The external enumeration classe

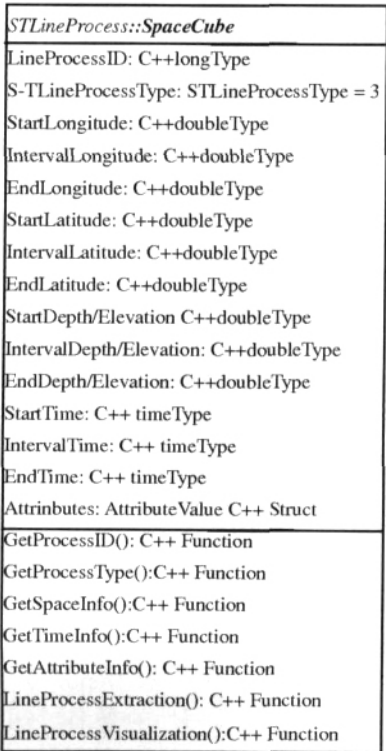


图 8 SpaceCube 类的组织

Fig.8 Organization of the spacecube class

Plane、YOZPlane 和 SpaceCube, 分别对应图 4 中的 (a)、(b)、(c) 和 (d) 线过程类别。显然, 前 3 个子类可以通过类 SpaceCube 固定某一平面实现, 是类 SpaceCube 特例化, 因而, 类 SpaceCube 的表达与组织更具普适性, 图 8 给出了采用面向对象技术类 SpaceCube 的组织与表达。

类 SpaceCube 的组织包括属性集和方法集两部分。属性集中包含了线过程的空间信息、时间信息和属性信息; 方法集保证了线过程对象查询和分析操作。属性集中的属性以外部结构体类的形式进行组织(图 9)。

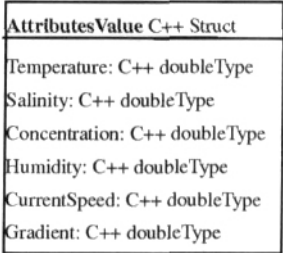


图 9 外部结构体类

Fig.9 The external structure class

3.4 线过程数据存储

线过程的数据组织通过描述、表达和组织建立的结构模型实现数据的物理存储。线过程数据的属性、功能和关系在空间、时间和时空上是一个动态过程, 其属性的多重性和时空的立体性使数据的组织与表达非常复杂。而文件结构具有多重属性表达功能, 本文利用文件层次分块模型进行线过程时空组织与分析。其文件层次分块模型由文件头和数据部分组成, 其头文件中包含线过程类型(3 种类型)和类型的线过程类别(4 种类别), 每一类别采用不同的数据块进行存储, 共有 12 个数据块。鉴于存储的复杂性, 数据部分只给出在时空维的垂直方向上发生变化的线过程数据块。图 10 给出线过程的文件层次分块模型。

4 海洋锋线过程数据模型时空分析

海洋锋是较为复杂的一类海洋线现象, 其属性、功能和关系在空间、时间和时空上是过程统一体。不仅其空间位置随时间发生变化, 而且其物理属性值随时间也发生变化, 充分体现了线过程的时空特性。本文以海洋锋为研究对象, 进行线过程数

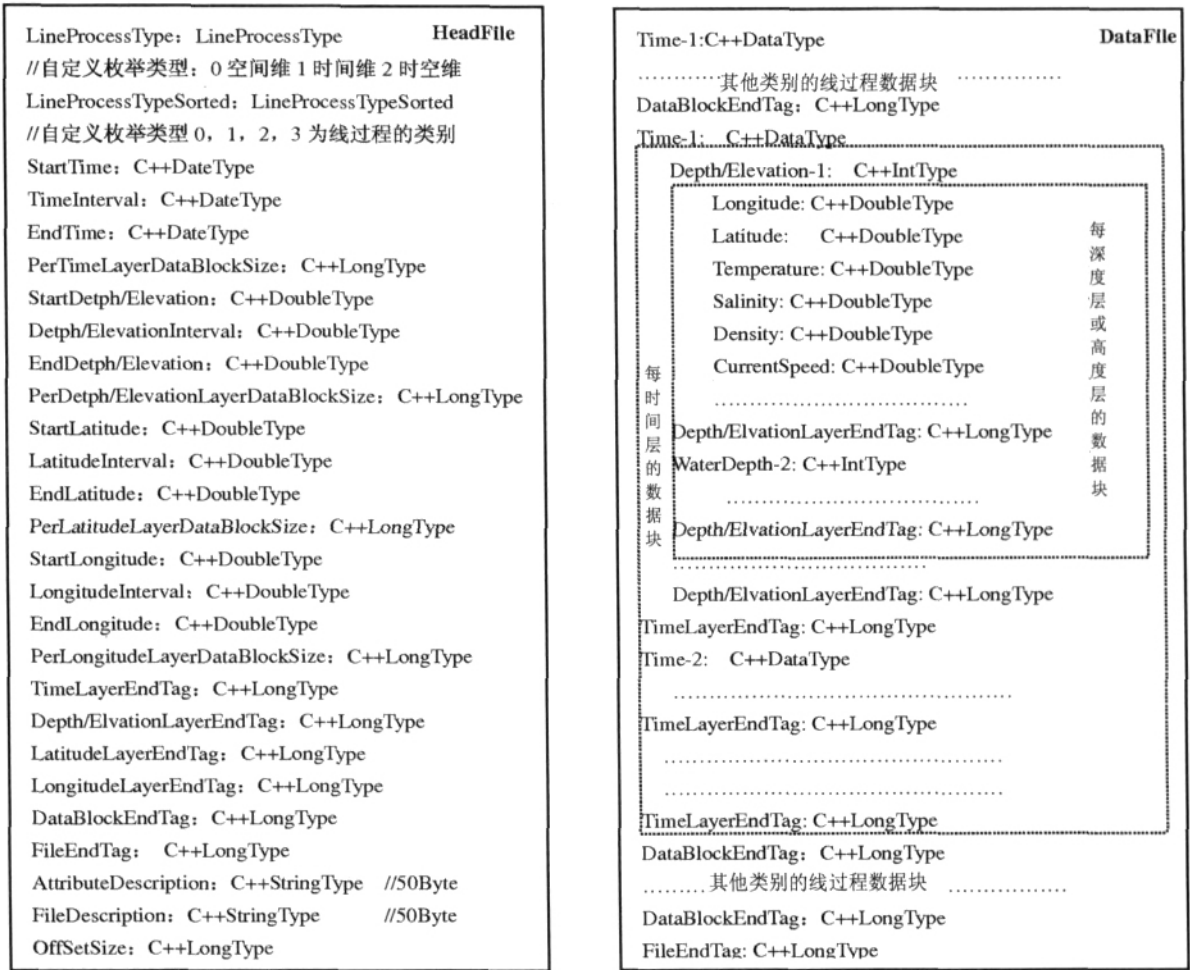


图 10 文件层次分块模型

Fig.10 The file hierachical block model

据组织,在此基础上进一步进行海洋锋时空查询、时空过程提取、时空过程可视化和时空数值模拟及时空插值等。文中所有功能均在 Visual C++6.0 环境下编程实现,并集成在由中科院地理资源所·资源与环境信息系统国家重点实验室自主开发的海洋地理信息系统软件通用平台 MaXplorer1.0 下。

4.1 海洋锋的数据组织

本文采用的海洋锋数据是从遥感影像数据 (MODIS/NOAA) 反演出来的海表温度锋 (数据来源由 PO.DAAC 提供: <http://www.jpl.po.daac.gov.cn>), 一般没有铅直深度, 其时间分辨率有天 (Daily)、周 (Weekly)、月 (Monthly) 和年 (Yearly) 等。根据图 9 所示的文件层次分块模型和目前已有的海洋锋数据, 以 NOAA 海表温度锋数据为例, 时间范围为 1985.01.01~2004.12.31, 时间分辨率采用周, 铅直深度采用 0m。图 11 给出利用文件层次分块模型对海

洋锋的数据组织。

4.2 海洋锋时空过程查询

利用文件层次分块模型组织的海洋锋数据, 文件头中包含海洋锋数据的空间信息和时间信息, 记录每一垂直层数据大小、水平层数据大小和每一时间层数据大小; 在模型的数据存储部分中, 分层记录时间层数据、水平层和垂直层数据。因而, 利用指针定位方法, 海洋锋的时空数据查询功能容易实现。能够实现任意时刻 Time、某一深度 Depth 的海洋锋属性的查询和海洋锋上任意点属性的查询; 能够实现任意深度 Depth、某一时刻 Time 海洋锋属性的查询和海洋锋上任意点属性的查询; 同时也能够实现任意时刻 Time、任意深度 Depth 海洋锋属性的查询和海洋锋上任意点属性的查询, 其中任意时刻和任意深度是相对的, 其大小取决于时间粒度和深度间隔。

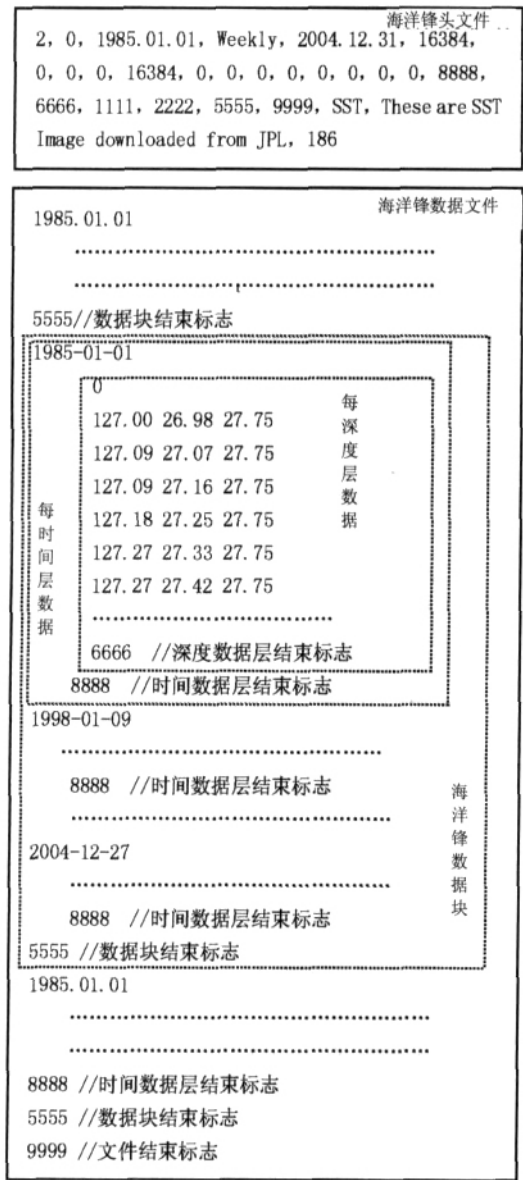


图 11 海洋锋的数据组织

Fig.11 The data organization of ocean fronts

在上述的 6 种时空查询功能上,以任意时刻任意深度海洋锋上任一点属性的查询最为复杂,以此为说明时空查询的一般过程。假定查询第二个时间段($Time=2$),第三层深度上($Depth=3$),经纬度分别为 X 、 Y 上的温度值,其查询过程为:(1)根据头文件中 $OffsetSize$ 的大小和 $PerTimeLayerDataBlockSize$ 的大小,指针定位到时间层上;(2)根据头文件中 $PerWaterLayerDataBlockSize$ 的大小,指针定位到深度层上;(3)根据经纬度 X 、 Y ,指针定位到具体位置;(4)从结构体 $AttributeValues$ 中提取海洋锋的属性值。

4.3 海洋锋时空过程提取

海洋锋的时空过程反映了海洋锋随时间变化的动态特征及时间上的内部关联,刻画海洋锋的时空变化规律。时空过程提取是从海洋锋时空数据中抽取出某一时刻 $Time$ 、某一深度 $Depth$ 的海洋锋对象。时空过程抽取可以抽取出某一时刻 $Time$ 、深度序列上的海洋锋对象,也可以抽取出某一深度 $Depth$ 、时间序列上的海洋锋对象。图 12 给出了从 1985 年 1 月至 2004 年 12 月的海洋锋时空数据中抽取的时间是 2002 年第 19 周,深度是 0m,空间位置是黑潮流域的温度锋(封底,彩图 1, 2)。为了突出其空间位置,把黑潮流域的遥感影像作为背景数据叠加到温度锋上。

4.4 海洋锋时空过程可视化

海洋锋的多维动态特性使得海洋锋的时空可视化更为重要,能更为直观地分析某空间位置海洋锋时间序列的和某时刻海洋锋空间位置上的动态变化规律。时空过程的可视化技术可以采用多窗口显示、过程动态演进、时间剖面等,在 $MaXplorer1.0$ 软件系统中,实现了海洋现象的过程动态演进功能。封底,图 13 给出了深度为 0m,时间分辨率为周,时间序列上的温度锋的生长、成熟到消亡的整个生命演进过程。为了突出温度锋的空间位置,把遥感影像作为背景数据叠加到海洋锋上。

5 结论

客观世界存在时空场,很多领域的研究涉及时空过程特性。传统的 GIS 时空数据模型在进行组织和表达具有多维动态特性的现象时存在一定的难度。本文从时空过程的线过程入手,在分析线过程特性的基础上,分析探讨线过程时空类型,得出空间维、时间维和时空维 3 类线过程和 12 个线过程类别,进一步提出基于特征的线过程时空数据模型。在面向对象技术和 UML 技术支持下,设计该模型的 UML 框架图,提出文件层次分块模型并进行线过程数据的组织与存储。最后,以海洋锋的组织与表达为例,分析了基于特征的海域线数据模型的可行性和有效性。试验结果表明,该模型在时空数据查询、时空过程数据抽取、时空过程数据可视化和时空数据数值模拟及时空数据插值方面具有很

强的实用性。该模型首次对物理属性值和空间位置时刻都在发生变化的海洋线数据进行数据组织,以此为基础探讨了时空功能分析,取得了理想效果,这在一定程度上为海洋数据模型的总体设计提供了借鉴。

参考文献

- [1] 陈述彭,鲁学军,周成虎.地理信息系统导论.北京:科学出版社,1999.
- [2] Dawn J Wright. Marine and Coastal Geographical Information System. Taylor&Francis: 2000.
- [3] Donna J Peuquet, Duan N. An event- based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data. International Journal of Geographical Information Systems, 1995,9(1): 7~24.
- [4] Torill Hamre, Khalid Azim Mughal. A 4D marine data model: Design and application in ace monitoring. Marine Geodesy, 1997, (20): 121~136.
- [5] Pavlopoulos A, B Theodoulidis. Review of Spatio- Temporal Data Models. TimeLab Technical Report TR- 98- 3, 1998.
- [6] 仇天宇,周成虎,邵全琴. 海洋 GIS数据模型与结构.地球信息科学,2003,5(4):25~29.
- [7] 牛方曲 朱德海 程昌秀. 改进基于事件的时空数据模型. 地球信息科学, 2006,8(3):104~108.
- [8] 石伟伟,钟耳顺,蔡阳军. ‘数字房产’时空数据模型的建立与应用. 地球信息科学, 2006,8(3):12~16.
- [9] 陆 锋,李小娟,周成虎 等. 基于特征的时空数据模型: 研究进展与问题探讨. 中国图象图形学报, 2001,6(9):930~935.
- [10] 崔伟宏, 史文中, 李小娟. 基于特征的时空数据模型研究及在土地利用变化动态监测中的应用. 测绘学报, 2004,33(2):138~145.
- [11] 李小娟,尹连旺,崔伟宏. 土地利用动态监测中的时空数据模型研究. 遥感学报, 2002,6(5):370~375.
- [12] 苏奋振, 周成虎. 过程地理信息系统框架基础与原型构建. 地理研究, 2006, 25(3):477~484.
- [13] Bartlett D, Devoy R, et al. A dynamically segmented linear data model of the coast. Marine Geodesy, 1997,20:137~151.
- [14] 王家耀, 魏海平, 成 毅 等. 时空 GIS的研究与进展. 海洋测绘, 2004,24 (5) :1~4.

Feature- based Line Process Spatio- temporal Data Model

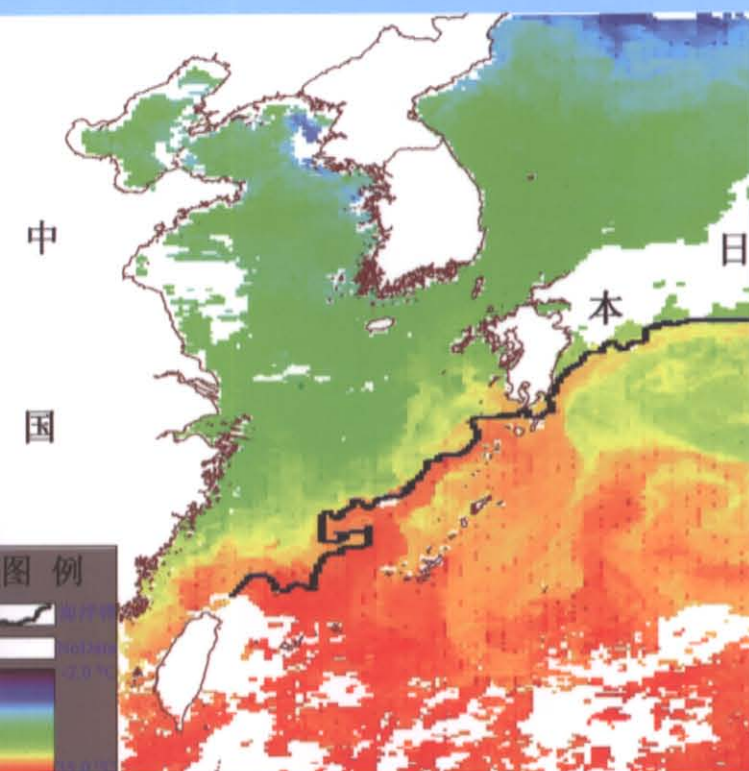
XUE Cunjin^{1,2}, SU Fenzhen¹, ZHOU Chenghu¹

(1 The Marine GIS's Center of the State Key Lab of Resource and Environment Information System,
Institute of Geographic Sciences and Natural Resources, CAS, Beijing 100101, China;

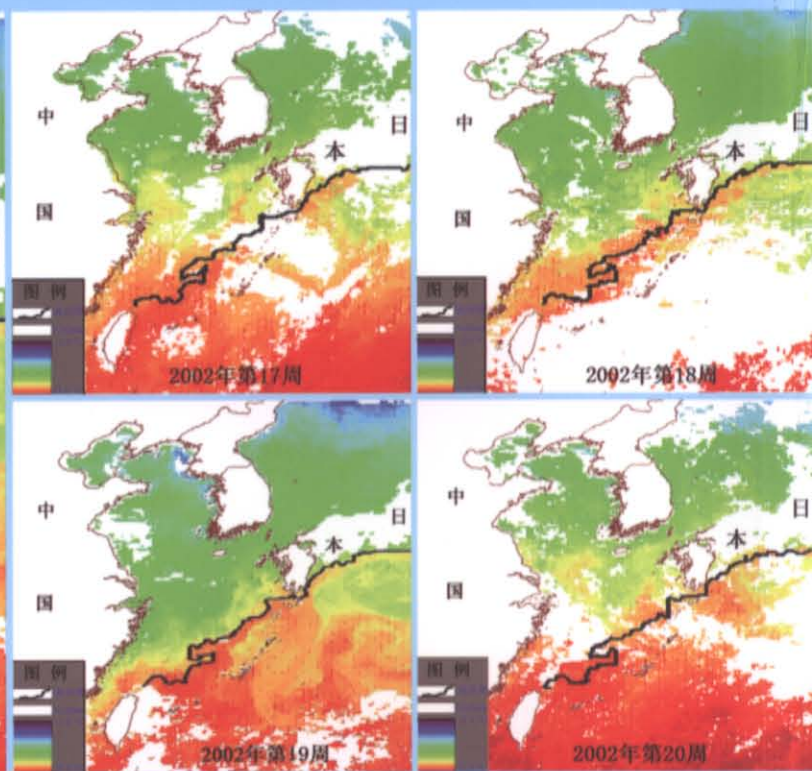
2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: There exist spatio- temporal fields in objective world, where most phenomena have the dynamic characteristic, with its space, time and attributes changing continuously. And there are many challenges when applying traditional GIS's data models to describe, organize and represent these dynamic data. And further dynamic analysis is far more difficulty. However, the research on data models based features and data organization process- oriented objects have made a few progress in cadastral dynamic management, detection and analysis. Firstly, the sextuple description framework of the line process spatio- temporal data model based feature is discussed with the core ideal of object- oriented technologies, which can realize the unified storage and dynamic analysis of space, time and attributes. Then based on the analysis of the characteristic of line spatio- temporal process, 3 main classes and 12 kinds of line processes are inducted, and then the feature- based line process spatio- temporal data model is proposed. Furthermore, the UML framework is designed by applying object- oriented technology, and the file hierachical block based- raster model is presented aiming at organizing the line process data. Taking the ocean fronts as an example, the paper discusses the application of the model in spatio- temporal ocean fronts data organization, spatio- temporal inquiry, spatio- temporal information extraction, and spatio- temporal visualization. It is proven that the model is well applicable to line process data with the dynamic characteristics, and can also provide basis for spatio- temporal data model whole designing.

Key words: feature; line process spatio- temporal data model; file hierachical block data model; ocean fronts



彩图1 从时空数据库中提取的温度锋
Fig.1 The temperature front extracted from database



彩图2 海洋锋的时空过程可视化
Fig.2 The process visualization of the ocean fronts

地球信息科学
(Diqiu Xinxu Kexue)
(双月刊,1996 创刊)

第 9 卷 第 5 期 (总第 45 期) 2007 年 10 月

编 辑 《地球信息科学》编辑委员会
地址:北京大屯路甲 11 号, 邮政编码:100101
电话:010-64888891
E-mail:sxfu@reis.ac.cn
http://dqxxkx.periodicals.net.cn/
主 编 陈 述 彭
主 管 中国科学院
主 办 中国科学院地理科学与资源研究所
协 办 中国科学院资源与环境信息系统
国家重点实验室
中国科学院、香港中文大学地球信息
科学联合实验室
国际欧亚科学院中国科学中心
地球信息科学学部

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号, 邮编:100717

印刷装订 北京时捷印刷有限公司

总 发 行 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号, 邮编:100717
电话:010-64034563
E-mail: journal@cspg.net

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044

广告经营许可证 京东工商广字 0034 号

Geo-information Science

(Bimonthly, Started in 1996)

Vol.9 No.5 (Series No.45) Oct., 2007

Edited by Editorial Board of Geo-information Science
(11A,Datun Road,Beijing 100101,China)
Tel:+86-10-64888891
E-mail:sxfu@reis.ac.cn
http://dqxxkx.periodicals.net.cn/

Editor-in-Chief CHEN Shupeng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Geographic Sciences & Natural
Resources Research,CAS
Associatd by State Key Laboratory of Resources &
Environment Information System,CAS
Joint Laboratory for Geo-information
Science of CAS and CUHK
Academic Department of Geo-information
Science,CSC IEAS

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,Beijing
100717,China

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Co.
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing
100717, China
Tel: 010-64034563 E-mail: journal@cspg.net

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399,Beijing 100044, China