

文章编号: 1007-4619(2005)06-0634-06

# 基于双效机制的时空数据模型研究

滕龙妹, 刘仁义, 刘 南

(浙江大学 地理信息科学研究所, 浙江省 GIS 重点实验室, 浙江 杭州 310028)

**摘 要:** 地理特征对象是时空数据组织的基本单元,而事件是导致时空数据发生变化的根本原因。在分析、借鉴前人的时空数据管理方法的基础上,通过分析事件驱动的特征对象数据存储与管理机制,提出了一种基于特征和事件双效机制的 TGIS 时空数据模型。同时结合土地利用的时空数据特点,设计了基于该模型的时空数据的快速索引机制和时空数据库。实际运行表明基于该模型的 TGIS 系统设计方案能高效、快速、全面地实现时空数据的存储、管理和分析。

**关键词:** 时态 GIS; 时空数据模型; 历史回溯; 土地利用

**中图分类号:** P208 **文献标识码:** A

## 1 引 言

时态 GIS (TGIS or Temporal Geographic Information System) 作为 GIS 的一个重要研究领域,受到越来越多的关注。目前 TGIS 广泛地应用于土地管理、城市规划等部门。由于经济的发展,这些部门对时空数据处理提出了更高的要求,要求能够对时空数据提供准确、完善、高效的历史回溯、变化监测和趋势分析,所以如何设计合理的时空数据模型,成为了 TGIS 研究的关键问题,各种 TGIS 时空数据模型也应运而生。

从近年来时空数据模型的发展来看,在经历了连续快照、基态修正、时空复合等模型之后,相继提出了一些扩展的时空数据模型,比如面向对象的时空数据模型<sup>[1]</sup>、基于地理位置的时空数据模型<sup>[2]</sup>、基于特征的时空数据模型<sup>[3]</sup>、基于事件面向位置的时空数据模型<sup>[4]</sup>、基于事件的时空数据模型<sup>[5]</sup>等。从中我们可以看出,国内外学者对于时态问题的解决开始转向探究现实世界的时空现象的内在变化规律,即注重于时空变化的内部规律的研究与表达<sup>[1-9]</sup>。

本文在分析、借鉴前人的时空数据管理方法的

基础上,进一步研究了导致时空数据发生变化的根本原因——事件及其与对象之间的关系,寻求适合事件驱动的特征对象数据存储与管理机制,提出了一种基于双效机制的时空数据模型,即融合特征机制和事件机制进行时空数据库设计。同时笔者结合土地利用的时空数据特点,将该模型应用于浙江省土地利用管理信息系统 (LandEx) 中。系统运行表明,该模型较好地表达了地理空间对象及其与事件的内在关联,能快速、全面、有效地对时态数据进行历史回溯。

## 2 时空数据模型

### 2.1 目前主要的时空数据模型

建立 TGIS 时空数据模型的关键是如何有机地结合时态空间数据和属性数据,更有效地组织、管理和完善时态地理对象的属性、空间和时间语义,尤其是如何表达空间数据与时间序列的内在管理机制,以便历史回溯、变化跟踪监测、分析预测未来变化趋势。目前所有时空数据模型的构建都是围绕这个关键问题展开的。

根据对时空表达方式的不同,当前的时空数据模型主要有基于时间特征的时空数据模型、基于地

收稿日期: 2004-05-10; 修订日期: 2004-10-19

基金项目: 国家自然科学基金“时态 GIS 的基态修正时空数据模型扩展及其应用”(40271087)、浙江省自然科学基金“GIS 时空数据库中基态修正模型扩展及其应用”(401006)。

作者简介: 滕龙妹(1980—),女,浙江杭州人,博士生。2003 年进入浙江大学进行博士研究生学习。主要研究领域为网络 GIS、面向对象的时空数据库理论、时空数据模型及 GIS 应用系统技术开发。主力参与土地利用管理信息系统研发工作。E-mail: tml\_hz@163.com。

理位置的时空数据模型、基于特征的时空数据模型、基于事件的时空数据模型等。

基于时间特征的时空数据模型,对传统的空间数据表示方法进行时间维上的扩展,主要有时间快照模型、时空复合模型、时空立方体模型等。虽然这些模型加入了时间因素,能较好表达实体间的时间序列关系,实现简单的历史查询,但是对于深层次的时空分析,如事件关联分析、时空拓扑分析存在一定的困难。

基于地理位置的时空数据模型,空间被分割成一组网格,每个网格对应一个地理位置和一张列表,每当某一地理位置的属性发生变化时,变化的时间和新的属性值就添加到列表中去。该模型对于空间上连续变化的地理对象不太适用,主要用于栅格数据。

基于特征的时空数据模型以地物的空间关系为基础,记录了不同历史时刻的地物空间关系,能很好的表达实体间的空间关系。这里的特征是指包括空间、属性、时间信息的地理要素实体。在该模型中,属性和空间关系直接依附与特征的标识上,这样可以有效地对地理对象或实体进行描述,较好的实现某一实体历史回溯。该模型能够很好的表达实体间的空间关系,反映某一实体的演变过程,但是对于某一实体的演变过程中周围其他地理对象的全貌不能再现。

基于事件的时空数据模型通过一系列事件序列来描述某一空间对象的时间变化,每个事件代表一个状态变化(如特征、属性和取值的变化),而状态则通过特征、位置或其组合来表达,同一事件中同种变化属性只被记录一次,从而减少了冗余。事件该模型中只是用来简单的记录变化发生的时间,对于

如何设计事件表反映事件间的因果关系、事件驱动的对象更新机制、基于事件的对象快速检索机制等没有进一步的探讨。而且目前该模型主要用于栅格数据<sup>[1]</sup>,对于矢量数据的应用没有深入探讨。

### 2 2 基于双效机制的时空数据模型 (FESTDM)

面对全要素时态信息存储和历史数据的快速膨胀等特点,如何提高时空数据的检索效率是 TG IS 时空数据模型中亟待解决问题。对于一个完整的信息系统,我们面对的对象是包含空间、属性、时间信息的,且空间、属性、时间信息的查询检索在很多时候需要并行进行,那么这里必然又会涉及到空间、属性、时间信息的交叉匹配和检索次序问题。如何加快检索,很大程度上需要依赖数据库底层数据存储和检索机制的支持。

在一些文献中也提出基于事件或基于特征的时空数据模型<sup>[1,2]</sup>,在这些模型中提出了事件驱动的对象更新机制,对象的存储也考虑了地理对象的时空内聚性,但是有些模型将对象的空间、属性、时间信息分开存储,破坏了对对象的数据完整性。同时这些模型中也提出事件表的概念,记录事件的类型以及对应的操作对象,但是对于事件的作用及其引起变化的对象之间的连锁关系不够明确,没有充分挖掘两者各自的特点以及关联机制。为了充分发挥时态数据的功效,本文采用一种基于双效机制的时空数据模型,有效地融合了基于事件和基于特征的时空数据模型长处,能全面地对时态数据进行历史回溯。所谓基于双效机制的时空数据模型,指在时空数据模型中,以特征机制为基础,融合事件机制,如图 1。

所谓特征机制,就是指时空数据的组织以具有

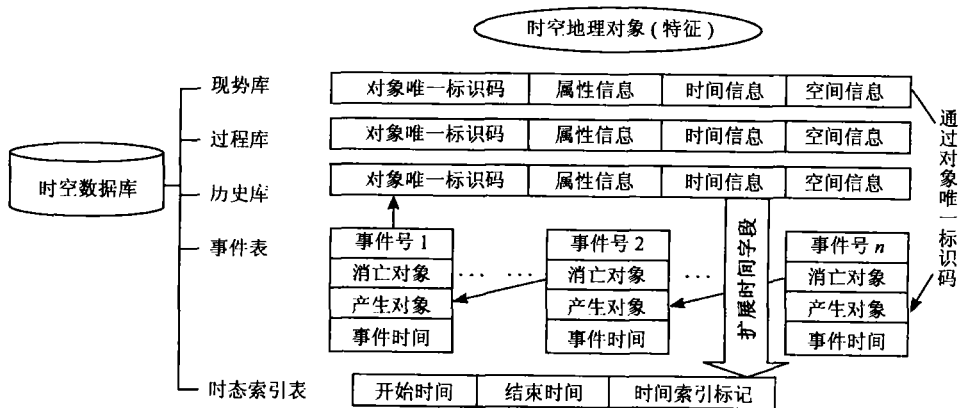


图 1 基于双效机制的时空数据模型

空间、属性、时间信息的地理要素实体(特征)为基本单元,各对象实体在不断历史变化中保持唯一标识符,从而建立起空间、属性、时间的对应关系。其中时间信息用“时间区”表示,即采用两个字段 *BeginTime*、*EndTime* 来标识该对象实体的创建时间和消亡时间。有了时间区,用户需要再现某一历史时刻的状态时,就可以用时间区到数据库中筛选出符合时间段的记录,实现某一指定时刻的历史状态再现。

时空数据的变化都是由于发生某一事件引起的,地理要素实体的产生、消亡与事件是密切联系的,因此本文在特征机制的基础上融合了事件机制,把不同的对象通过事件来组织以反映地理要素实体间的亲缘继承关系。

所谓事件机制,就是在地理要素实体的信息中加入了产生该对象的事件信息,以反映事件和对象的关联。在实现路线上可以采用在地理要素实体表中扩展事件信息字段。但是随着地理要素实体的数据量不断增加,每个对象都记录大量的事件信息,会造成数据冗余,实体历史回溯的效率也会降低。于是在地理要素实体的基础上,建立一张记录事件信息的事件表来标识地理要素实体间的亲缘继承关系,反映现状与历史的关系,能准确高效地实现某一实体的历史回溯。建立的事件表,可以直观地反映某一事件引起的所有变化的对象,因而在实现某一实体历史回溯的同时,还可以反映引起该实体产生或消亡的事件发生时周围其他对象的状态。

由于时空数据的组织以特征对象为基础,所以可以将事件表独立与存储空间、属性、时间信息的数据库,通过事件表建立起数据库中不同对象的内在关联,从而取代每个对象存储事件信息,减少每个对象的数据存储量。同时由于时空数据的存储以特征对象为基本单元,可以基于特征机制建立时态索引来快速实现历史数据的查询,提高历史回溯的效率。

### 3 时空数据库设计

在现实的时空数据管理中,对历史数据的直接操作一般在历史回顾、历史查询时发生,在日常业务中并不体现。如果现势数据和历史数据单纯地存储于同一数据集,则频繁的变更会造成操作对象数据集非常庞大,影响系统效率。同时考虑事件引发的对象状态变化没有达到期望的要求,即事件发生错误时,可以取消,恢复到事件发生前的状态,所以数据库的设计运用了事务处理的方式,即当遇到错误时,可以回滚事务,取消事务内的所有改变,从而保证数据库的一致性和可恢复性。因而在实际开发中,数据库增加一个过程库,用来暂时存放新地理对象的产生。

本文设计的时空数据库包含过程库、现势库、历史库和标识对象内在联系的事件表(图 1)。相应地,事件的整个过程被分成两个步骤:(1)新要素生成:现势库中的任何数据不改变,事件产生的新对象在过程库中生成;(2)事件确认入库:过程库中的新对象被移到现势库,现势库中相应的消亡对象被移到历史库,同时将事件引起的旧对象和新对象之间的对应关系记录到事件表中。对应关系可以是一对一,也可以是一对多或多对一,以适应不同类型的事件。整个流程中允许取消事务,即存在操作错误时,可以回滚事务,当确认此次事件中的所有操作准确无误时,才提交事务,完成整个事件。

### 4 地理空间数据存储机制

以图 2 的土地利用过程中的地类图斑层的变更过程为例,说明本文所提出的基于双效机制的时空数据的存储和管理机制。

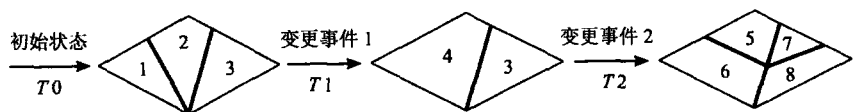


图 2 土地利用变更过程

Fig 2 Procedure of land utilization change

在  $T_0$  时刻,完成所有数据的初始化。在  $T_1$  时刻,土地利用发生变更事件 1,图斑 1 与图斑 2 合并成图斑 4。在  $T_2$  时刻,土地利用发生变更事件 2,图

斑 4 分割成图斑 5 与图斑 6,图斑 3 分割成图斑 7 与图斑 8。整个变化过程中现势库、过程库和历史库数据存储变化如图 3。

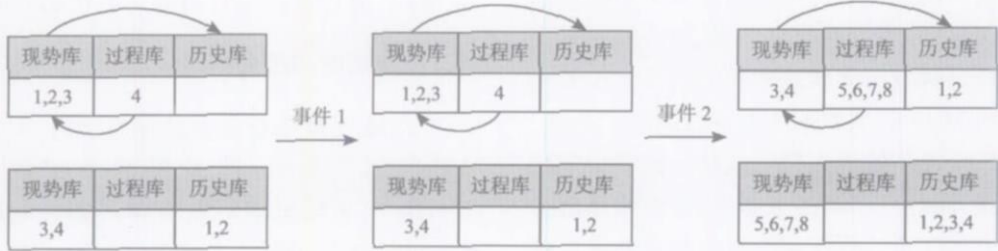


图 3 数据库中对象的存储过程

Fig 3 Procedure of features change in spatio-temporal database

事件 1 和事件 2 完成后数据库中事件表记录如表 1。

表 1 关联对象的事件表

Table 1 Table of event relate to feature

变更事件号	前图斑标识码	后图斑标识码
001	1	4
001	2	4
002	3	7
002	3	8
002	4	5
002	4	6

### 5 时空数据的快速检索机制

#### 5.1 时空数据的快速检索

从历史数据的信息查询要求看,一般包含两种,一种是实体回溯,一种是特定时刻实体再现。实体历史回溯是指用户指定一个特定的实体对象(比如当前实体),由系统按历史变化的父子关系回溯出一个变化谱系,即一棵倒序的回溯树。特定时刻历史再现是指恢复某一时刻的历史状态。下面就通过这两种历史信息查询来说明,基于双效机制的 TGIS 时空数据模型如何实现历史数据的快速检索。

上述的时空数据模型中引入了事件表,完整地保存了对象间的亲缘继承关系,所以要了解某一地理对象整个时空数据变化过程中的所有亲缘继承关系及其演变过程,可以通过此事件表根据对象唯一标识码来查找其父类,以此类推,直至回溯到最初的父类。即使历史数据量很大时,事件表的记录比历史库、现势库的记录要来得少,因而事件表的检索效率比对象中直接扩展事件信息字段要快,提高了对象实体的历史回溯。

的所有对象时,就可以用时间字段到历史库数据中筛选出符合要求的记录,即要恢复历史时刻  $T_i$  的全貌,加载现势数据和历史数据,应用 SQL 语句:产生时间  $\langle T_i$  and 消亡时间  $\rangle T_i$  可实现。但是当历史数据量很大时,即使对对象的两个时间字段加了普通索引,也需要全表对象用时间字段一一比较,其历史时刻再现的效率会明显降低。而事件表记录的是对象的内在联系,对于特定历史时刻状态再现,事件机制也无能为力。

本文在特征机制的基础上,扩展了特征对象的时间信息字段,引入了时段分区技术来建立时态索引表,即对时间轴进行人为或半人为的划分,对不同时间段进行时间索引标记,保存于时态索引表中,然后对每条历史记录加上时间索引标记来提高查询效率。即要再现某一历史时刻  $T_i$  的状态,可以先通过时态索引表进行查询,找到相应的时间索引标记值(这过程很快,因为时态索引表记录不会很大),再通过得到的时间索引标记值和时空数据库中特征对象的时间索引标记进行比较来缩小符合条件记录的范围,然后对少量符合要求的记录再具体对时间字段进行比较来获取完全符合要求的记录。在现实的时空数据管理中,对于离现势数据时间间隔较短的历史数据的操作频率一般较高,所以在时间段划分时近期的时间间隔可以相应的细化些,具体如表 2。

表 2 时态索引表

Table 2 Table of index time stamp

时间索引标记(唯一索引)	开始时间	结束时间
1	1899-01-01	1989-12-31
2	1990-01-01	1999-12-31
...	...	...
n-2	2003-01-01	2003-12-31
n-1	2004-01-01	2004-06-30
n	2004-07-01	2004-12-31

事件机制中的事件表可以提高实体历史回溯的效率,特征机制中扩展时间信息字段,引入时态索引表可以提高特定时刻历史状态再现的效率。因而基于双效机制的 TGIS 时刻数据模型,可以快速、全面、有效地实现某一实体的历史回溯或某一区域指定时刻的历史再现,同时将两者结合起来:①在实体历史回溯的过程中重现某一事件发生时的所有要素当时的状态,②在某一区域指定时刻的历史再现时选择当时的历史实体进行实体历史回溯。

### 5.2 实体历史回溯

基于事件机制直接从图 1 的事件表中查询,即可实现实体的历史回溯。例如,以图 2 的土地利用变更过程为例,进行图斑 6 的历史回溯。构造 SQL: Select 前图斑标识码 from 变更号表 where 后图斑标识码 = 6, 结果为 4, 然后继续构造 SQL: Select 前图斑标识码 from 变更号表 where 后图斑标识码 = 4, 结果为 1 和 2。以此类推,直至追溯到最初的父类。产生如图 4 的一系列历史回溯树。

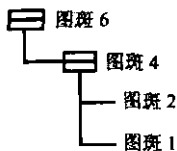


图 4 图斑 6 的历史回溯树

Fig 4 Land parcel change trace of 6th land parcel

在历史回溯树上随意点击任何一图斑,即可根据图斑标识码到现势库和历史库中搜索到该图斑的属性信息、空间信息和时间信息并加以显示。同时根据该图斑的时间信息,或者该图斑对应的事件发

生时间,进行该对应时刻的历史状态的重现。

### 5.3 特定时刻历史再现

在地理特征对象的数据组织时,时间信息采用“时间区”表示,即采用两个字段 BeginTime、EndTime 来标识该对象实体的创建时间和消亡时间,同时加入了时间索引标记 StampTime。当用户需要再现某一历史时刻某一地区范围中的所有对象时,就可以到历史库数据根据时间信息筛选出符合要求的记录。要恢复历史时刻 Ti 的全貌,可以先通过时态索引表,应用 SQL 语句: Select 时间索引标记 from 时态索引表 where 开始时间 < Ti and 结束时间 > Ti 假定结果为 m, 然后加载现势数据和历史数据,应用 SQL 条件: ① StampTime = m ② BeginTime < Ti and EndTime > Ti 即可实现。实际运用时,由于现势库中对象还是存在的实体并没有消亡,所以现势库中 SQL 条件②改为 BeginTime < Ti。历史时刻 Ti 可以是任意的,不一定是事件发生的时刻,即可完整的描述任意一时刻的状况。

例如,以图 2 的土地利用变更过程为例,直接从图上可以看出:在 T0 时刻以前没有数据,在 T0 时刻和 T1 时刻间的任一时刻的状态为图斑 1, 2, 3 三条记录,在 T1 时刻和 T2 时刻间的任一时刻状态为 3, 4 两条记录, T2 时刻至目前间的任一时刻的状态为图斑 5, 6, 7, 8 四条记录。要恢复历史时刻 Ti 的全貌,①若 Ti 处于 T1 之前,构建 SQL 过滤后,取出的图斑为空,②若 Ti 处于 T0 和 T1 之间,构建 SQL 过滤后,取出的图斑为历史库中的 1, 2, 3, ③若 Ti 处于 T1 和 T2 之间,构建 SQL 过滤后,取出的图斑为历史库中的 3, 4, ④若 Ti 处于 T2 和目前之间,构建 SQL 过滤后,取出的图斑为现势库中的 5, 6, 7, 8, 即任意历史时刻 Ti 构

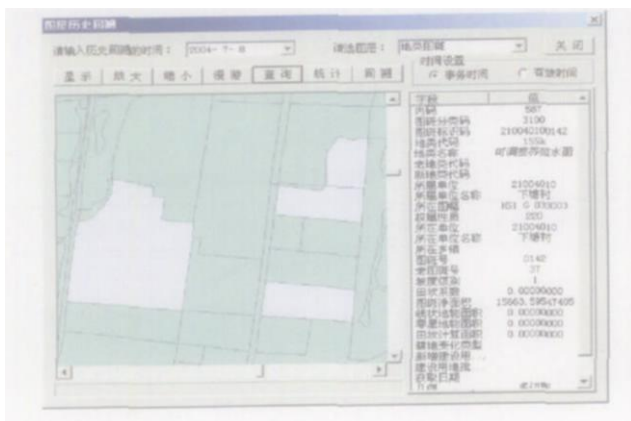


图 5 某一时刻历史状态再现

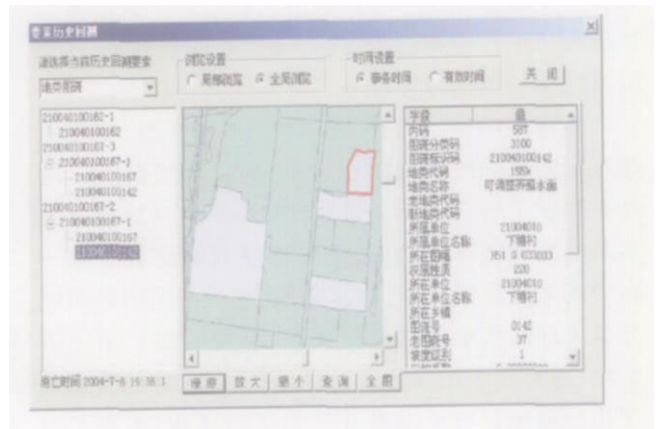


图 6 地理特征对象实体历史回溯

Fig 6 Historical retrospect about feature

建 SQL 过滤后数据库中取出的数据与图上所示一致,符合事实。同时,当某一时刻的历史状态再现时,可选择当时的图斑实体进行该实体的历史回溯。

## 6 应用实例与结论

针对时空数据管理中时空数据的特点,提出了基于双效机制的时空数据模型的 TGIS 系统设计方案,并在自主开发的浙江省土地利用现状管理信息系统(LandEx)中得到应用。LandEx 是基于 SQL Server 数据库平台,采用 VC++6.0 开发语言及 COM 组件技术开发的土地利用管理信息系统。其图形数据的组织、存储和管理借用空间数据库引擎 ArcSDE,数据模型采用基于双效机制的时态数据模型。系统具有很强的 GIS 图形编辑功能,能够快速实现土地利用的变更操作、日常管理、历史回溯(运行效果见图 5、图 6)与统计。笔者利用浙江省某县土地利用部分现状数据作为时空数据模型建库的试验数据,系统运行表明基于该时空数据模型,能高效、快速、全面地实现时空数据的存储、管理和分析。

## 参考文献 (References)

[1] Shu H, Chen J, Du D S, et al. An Object-oriented Spatio-temporal Data Model [J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1997, 22(3): 299-233. [舒红,陈军,杜道生等.面向对象的时空数据模型[J].武汉测绘科技大学学报,1997,22(3):299-233.]

- [2] Langran G. Time in Geographical Information System. Taylor & Francis Ltd., Lond. UK, 1992.
- [3] Lu F, Li X J, Zhou C H, et al. Feature-Based Temporal-Spatial Data Modeling: State of the Art and Problem Discussion [J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(9): 830-834. [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[J].中国图象图形学报,2001,6(9):830-834.]
- [4] Peuquet D J, Duan N. An Event-Based Spatio-temporal Data Model for Temporal Analysis of Geographical Data [J]. IJGIS, 1995, 9(1): 7-24.
- [5] Chen X W, Wu H, Li X J, et al. Study on Event-based Spatio-temporal Data Model for Land Use Change [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(8): 957-963. [陈秀万,吴欢,李小娟等.基于事件的土地利用时空数据模型研究[J].中国图象图形学报,2003,8(8):957-963.]
- [6] Peuquet D J. Time in GIS and Geographical Databases [A]. Geographical Information System [C], New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [7] Egenhofer M J, et al. Progress in Computational Methods for Representing Geographical Concepts [J]. IJGIS, 1999, 13(8): 775-796.
- [8] Liu R Y, Liu N, Su G Z. Extension of Base State with Amendments in Spatio-temporal Database [J]. Journal of Zhejiang University, 2000, 27(3): 196-200. [刘仁义,刘南,苏国中.时空数据库基态修正模型的扩展[J].浙江大学学报,2000,27(3):196-200.]
- [9] Xu Z H, Bian F L, Chen J P. Spatio-Temporal GIS Model Based on Event Semantic [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2002, 27(3): 311-315. [徐志红,边馥苓,陈江平.基于事件语义的时态 GIS 模型[J].武汉大学学报·信息科学版,2002,27(3):311-315.]

## A Study on Spatio-temporal Data Model based on Feature and Event

TENG Longmei LIU Renyi LIU Nan

(Zhejiang Provincial Key lab of GIS, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

**Abstract** The feature is an essential element that comprises spatio-temporal data information and the event is a fundamental factor that result in changing spatio-temporal data. Basing on analyzing several existing Spatio-temporal Data Model, this paper introduces a new Spatio-temporal Data Model based on feature and event double mechanisms. The character of spatio-temporal data changing is analyzed. And how to organize data, build relations between features and storage data in spatio-temporal database are also emphatically discussed. At last, a software package of dynamic land use information system based on above model and methods are introduced. Its running network environment is Windows NT Server 2000 and client is Windows workstation 4.0/2k/xp professional operation systems. Another important technology used in dynamic land use information system is a self-developed Attribute Database Engine (DbLink) combined with Spatial Database Engine (SDE). It is proven efficient in realizing the query and retrospect of the history information during system's operating.

**Key words:** GIS; spatio-temporal data model; spatio-temporal database; historical retrospect