

# 基于事件的土地利用时空数据模型研究

陈秀万<sup>1)</sup> 吴欢<sup>1)</sup> 李小娟<sup>2)</sup> 张文江<sup>1)</sup>

(北京大学遥感与GIS研究所,北京 100871) <sup>2)</sup>(首都师范大学地理系,北京 100037)

**摘要** 先分析了Peuquet(1995)提出的基于事件的栅格时态数据模型ESTDM,对该模型采用栅格结构所致的多属性描述局限进行了讨论,并提出了解决方案:通过模型的属性索引访问“外部”的属性数据。据此,结合土地利用的时空特点,设计了基于事件的土地利用时空数据模型EI-STDM及相应的时空数据库方案,并对土地利用变化的时空分析进行了探讨。在此基础上,设计实现了土地利用变化时态GIS原型系统。试验结果表明,该时空数据模型满足了土地变化调查成果的管理和查询需求,对进一步的土地分析给予了较好的尝试。

**关键词** 地理信息系统(420·3040) 时空数据模型 事件 土地利用 时态GIS

**中图法分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)08-0957-07

## Study on Event-based Spatio-temporal Data Model for Land Use Change

CHEN Xiu-wan<sup>1)</sup>, WU Huan<sup>1)</sup>, LI Xiao-juan<sup>2)</sup>, ZHANG Wen-jiang<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Inst. of RS&GIS at Peking University, Beijing 100871)

<sup>2)</sup>(Department of Geography, Capital Normal University, Beijing 100037)

**Abstract** In this paper, the Event-based Spatio-temporal Data Model (ESTDM) put forward by D. J. Peuquet in 1995 was analyzed, and its inability of representing multi-attributes is discussed so that a resolution is reached; to introduce “attribute table and index” into the model to link the ESTDM with “external” attributes. Then, one new spatio-temporal data model is designed for land use change and the corresponded spatio-temporal database as well. In addition, a spatio-temporal database is designed for the data model. Based on the new model, a prototype of temporal GIS for land use is designed and implemented. Then the prototype system is tested with land use change data of Jinan city. The experiment indicated that the proposed new model is in right point for the spatio-temporal change of land use since it is specially aimed at land use change, which qualifies the model to hold both high academic and practical value.

**Keywords** GIS, Spatio-temporal data model, Event, Land use, Temporal GIS

## 0 引言

随着空间技术的发展,GIS面临着严峻的挑战:如何迅速有效地组织、管理和应用近乎海量的时空数据?目前,传统GIS呈现向时态方向发展的趋势,使GIS时空数据模型成为国内外密切关注和积极研究的热点。许多时空数据模型相继提出,但至今还没有一个模型能成为主流<sup>[1]</sup>。

作为人类赖以生存发展前提的土地资源,一直是GIS应用中最为重要的领域,在人多地少的我国尤为

明显。国土资源部从1999年起组织实施了国土资源大调查,利用遥感手段对全国范围内的重点城市进行了土地利用监测等工作。目前,这些调查成果主要是以光盘形式保存,其不便于成果的查询和分析。因此从为该调查服务出发,研究了时空数据模型,以对土地利用变化时态数据进行组织、管理和分析。

## 1 基于事件的时空数据模型

### 1.1 时空数据模型

时态GIS,认为地理对象由时间、空间和属性3

基金项目:国家自然科学基金项目(40171074)

收稿日期:2002-10-09; 改回日期:2003-03-20

个基本成分构成。系统不仅要组织管理地理对象的当前属性,还要组织管理其过去并预测将来的属性状态,而且其时间分布是关联而非割裂的<sup>[2]</sup>。时态GIS可跟踪地理的时空变化,实现对空间实体的历史分析和趋势分析。

作为时态GIS建立基础的时空数据模型,以概念方式对客观世界进行抽象,包括几何数据模型和语义数据模型<sup>[3]</sup>。前者描述空间实体(或现象)与时态变化相关的几何分布、空间关系;后者描述空间实体(或现象)包括非空间关系在内的专题信息及部分时态信息。时空数据模型反映了现实世界中空间实体及其相互间的动态联系。

根据对时空表达方式的不同,当前的时空数据模型可分为基于空间的时空数据模型、基于时间的时空数据模型、时空一体化数据模型以及时空专题复合集成数据模型4种类型。一般地讲,快照模型存储历史数据相对简单,但时态分析能力差;基状修正模型对于矢量GIS很适合,易于在当前的GIS中实现,但时态分析能力较弱;时空复合模型包括了时态分析需要的拓扑信息,难与当前的GIS结合;集成模型提供了可行的方案,但操作复杂、数据冗余等问题突出。由于时态GIS的复杂性和特殊性,基于时空数据模型的时空数据库实际运行在GIS应用系统的实例并不多。

## 1.2 基于事件的时空数据模型

基于事件的时空数据模型<sup>[4]</sup>(Event-based Spatio-temporal Data Model, ESTDM模型),采用栅格数据结构,比较适合于那些需要空间叠置分析和(或)采用遥感数据源的应用。ESTDM模型对某种空间特征或对象的时间变化通过一个变化事件序列予以表示,每个事件指向一组记录,描述上一次事件之后的特征变化和分布。特征的空间分布数据基于栅格形式,并采用游程长度编码进行压缩<sup>[4]</sup>,如图1所示。

模型的顶层信息是“事件列表”(Event List),每

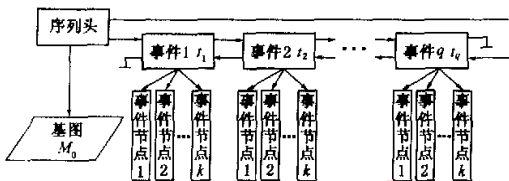


图1 基于事件的时空数据模型

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,也即明确地保存时间相关的变化。在该时空模型中,每一变化的时间保存在一个升序的时间序列中;从初始“世界状态”(World state)到最新状态。ESTDM模型将每个事件中同种变化组合在一起,然后采用基于栅格的游程长度编码进行压缩存储。事件中的该同种变化谓之节点“Component”——同种事件中同种变化的集合。所以,同一事件中同种变化属性只被记录一次,从而减少了冗余<sup>[4]</sup>。每个节点由两个基本的元素组成:新值和位置标记序列(Token array)。每个标记以游程方式表示一行中连续相同的栅格(变化),每个记号包括:行号、起始列号和终止列号。

综上所述,ESTDM模型结构包括一个记录该序列基本信息的序列头、一个描述事件序列初始状态的基图以及一个事件列表(Event List)——包含若干变化事件。一个ESTDM模型结构的文件表示了一定范围内的多个时空变化,这类类似于多个专题图层,称之为基于事件的时空序列。Peuquet应用C语言实现了ESTDM模型<sup>[4]</sup>,设计了3种查询操作:查询某时刻某变化的空间分布;查询某时间段内某变化的空间分布;统计两个时间之间某变化的面积。这里需指出:文中的事件应该是定义为两个统计时间之间在一定空间范围内某种特征的变化或变化之和的总称。这不同于客观对象的实际变化的事件。

## 1.3 ESTDM的局限

ESTDM模型采用的是空间数据栅格结构,所以比较适合空间叠置分析,同时也便于同遥感应用结合,但这也导致ESTDM模型不可避免地受到栅格数据结构固有局限的制约。该模型是基于栅格位置的描述,因此其不能描述客观实体对象及其变化;不能描述并非时态的空间拓扑;不能描述模型之外的地理特征。

所有基于栅格或矢量的时态数据模型,都是在一定程度上融入时间维信息,从而保留了原型数据组织的基本特征。因而,这些方法不可避免地同时存在各自优点与不足。矢量时空数据模型基于特征,所有的位置和时间信息及其他属性信息都按相关的具体地理或制图特征来组织,或者按照一定原则组成这些特征的拓扑元素(线、节点)。与之相反,基于镶嵌结构或栅格结构的时空数据模型则是基于位置,所有的信息都是保存在相关的位置,位置信息则是隐含的。因此,将时态信息同个体特征关联能方便

跟踪和比较个体特征的时空变化;而将时态信息同位置关联,则便于比较基于位置的变化历史。

## 2 基于事件的土地利用变化时空数据模型

空间信息技术特别是多源遥感,为土地利用动态监测提供了快速、高效的手段。从不同时相的影像中,可比较快捷、准确地提取土地利用的变化。从遥感影像直接或间接提取的变化信息,多采用栅格形式存储<sup>[4]</sup>。基于栅格的时态数据模型,是少数基于栅格的时空数据模型之一,不太适用于土地利用变化的遥感监测。

### 2.1 ESTDM 模型多属性表达研究

ESTDM 模型是基于栅格的单属性模型,不能描述时空变化之外的属性特征。如何描述同地理特征关联的其他属性信息,成为该模型需解决的重要问题。以土地利用变化为例,考察区域内的用地分别属于 3 个县,即这些土地利用除了类型属性外,还有行政权属。当需统计其中 A 县境内从耕地变化为城镇用地时,ESTDM 模型便无法实现。可见,时空数据模型的多属性描述与操作,是必要且必需的。

在 ESTDM 模型的事件描述中设置索引,指向时态变化之外的属性。根据共性与个性的不同,设置两个属性索引:共有和特有属性。这两个索引均设置在各个具体事件节点中,与事件序列头部分的属性表对应。前者为所有事件共有,如监测区域的范围、数据质量、行政单位、河流分布、交通干线;后者则是本次事件的特有属性,如本年建设规划等。采用变长指针可根据具体应用灵活构造,具有很好的拓展性。与事件索引对应,在事件序列头部分设置属性描述表,同样该表也分为两部分:第 1 个存储部分为各个事件所共用,包括本事件序列相关的基本信息和该事件序列的空间和非空间数据库信息,后者在这里体现为数据库接口;索引表的第 2 个存储部分是各个事件事件的属性信息,包括同样的存储结构。

对于属性表达,从表达方式的不同可分为简单属性和需数据库管理的属性。前者如政策、规划、监测区域的范围、数据质量等,可用文本进行描述,并直接记录在序列头的属性表中;后者则比较复杂,数据量比较大,如行政单位、河流分布、交通干线、人口统计、产业统计等,必须借助于数据库来管理,这种数据不能直接放到事件序列头属性表中,而是在序列表中记录

其元数据,借助于数据库进行管理。这种“外部”数据应有空间属性和非空间属性之分。非空间属性可采用关系型数据来存储与关联。对于空间属性,若是基于栅格的,其表达则相对容易,因为时态序列本身就是采用栅格结构,而对于矢量格式的数据,进行关联和分析比较困难,因为这涉及到了矢栅一体化的难题。在这里暂且简单处理为:以矢量方式存储,读入系统时将其转换为栅格结构,以减小系统的工作难度。在事件序列,属性的关联机制如图 2 所示。

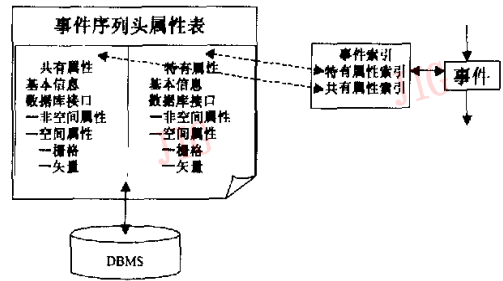


图 2 多属性描述示意图

### 2.2 数据组织的优化

ESTDM 模型的层次结构,通过层间指针和层内双向指针便于实现模型组织层间与层内的访问与遍历。但在时空查询中,经常需要时态事件数目、某事件的变化数目、某变化的面积等信息,而对于这些信息,ESTDM 模型是临时统计,影响了效率。同时,ESTDM 模型对于数据的存储与管理等问题也欠考虑——这些是数据库需解决的。此外,属性索引结构的引入也涉及 ESTDM 模型的结构重新组织。所以,有必要对 ESTDM 模型的数据组织进行优化。

(1) 事件序列库 是若干个事件序列的集合,在土地利用变化中则相当于多个监测区土地利用变化集。相对于 ESTDM 模型,这里增加了事件序列库,在层次上指向其管理的若干事件序列,在数据上对其管理的事件序列的时空数据进行组织和存储。

(2) 事件序列 在土地利用中相当于一个监测区的土地利用多年的变化。同 ESTDM 模型比较,其增加了当前事件指针以便事件序列的定位和遍历。另外,在序列属性表中直接提供了监测区域的范围、数据分辨率等信息,更重要的是通过属性表中的数据库入口大大拓展了事件序列的信息量。事件属性表的引入基本解决了 ESTDM 模型多属性问题,在一定程度上弥补了 ESTDM 模型的属性表达受限问题。



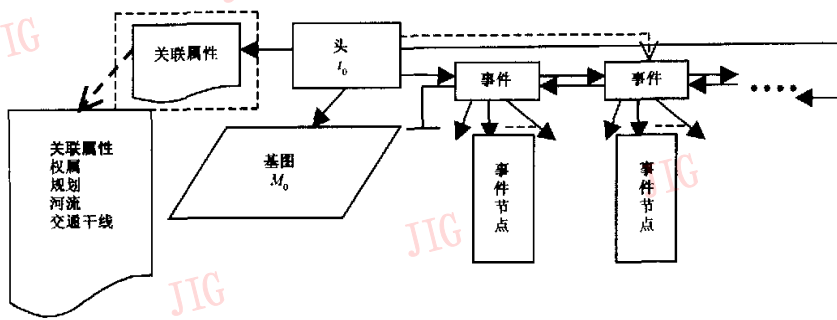


图 5 基于事件的土地利用栅格时空数据模型设计

基于事件的土地利用栅格时空数据模型,仍采用 ESTDM 模型的事件序列组织方式来管理土地利用时空数据。为了满足土地利用时空变化和查询分析的需要,对 ESTDM 模型的序列头、事件描述、节点表示等进行优化。

如前分析,首先在序列头(Header)添加了时态变化的关联属性表。在这里对事件序列涉及的一般概要属性进行直接描述,并提供非空间属性的数据库接口和一定空间数据的关联。空间数据关联,主要是本变化区域的重要河流、交通干线、交通枢纽等对土地利用会产生重要影响的事物描述,以便支持用户进行土地利用变化的缓冲区分析。

在事件(Event)描述中,同序列头中的属性描述表相对应,通过属性索引与之关联,引入属性信息,以支持土地利用的时空分析。事件的结构如图 6 所示。其中  $Ti-2$  表示一个事件节点,  $X$  是当前图斑条所在的行号,  $Y1$  和  $Y2$  则是该图斑条的首末列号,即为游程长度编码的参数。

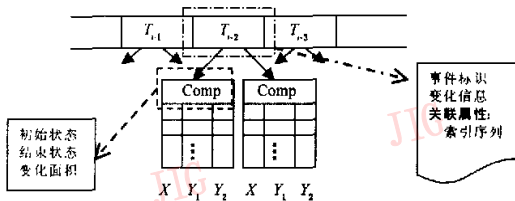


图 6 基于事件的土地利用栅格时空数据模型中事件及节点描述

在事件节点(Component)描述中,记录了变化前后的属性状态及本次变化的面积。通过这样的结构,其支持从某种土地利用类型所发生的变化(不管变化成什么);变化到某种土地利用类型(不管从什么类型发生的变化);从某种土地利用类型发生到另一种土地利用类型。

通过上述的模型结构实现土地利用变化的数据描述。数据结构是数据对象集及其对象之间关系和操作的总称<sup>[5]</sup>,完整的模型还应包括数据集上的功能操作。ELSTDM 模型的操作针对土地利用变化监测需求所设计,功能操作可简单分为管理功能、查询功能和分析功能 3 个层次,应用需求的层次逐渐增高,开发实现的难度也是逐渐增大的。其中管理功能包括数据输入、输出、修改、保存、显示、打印;查询功能进行指定变化查询、年度变化查询、时段变化查询、变化历程回溯;分析功能包括统计分析、缓冲区分析、元胞自动机模型分析。由于缓冲区分析和元胞自动机分析对于土地利用变化分析有特别的意义,因此尽管本研究尚不能实现也在模型里为之设置了接口。

### 3 原型系统试验

在研究模型的基础上,设计了适用于土地利用的时态 GIS 原型系统,并进行了试验。原型系统采用微软可视化开发工具 Visual C++6.0 实现了原型系统,运行平台为 MS Windows 系列,工作界面如图 7 所示<sup>[6]</sup>。

原型系统试验数据为国土资源大调查中济南监测区中大小为  $1024 \times 1024$  个像素的区域,数据为 1999 年到 2001 年,由中国测绘科学研究院提供。源数据是 Landsat TM 影像和 SPOT PAN 影像,提取出的变化为专题数据,空间分辨率为 10m,以 Photoshop psd 数据格式、光盘形式归档。

在试验前,首先将 psd 格式文件中的各变化层分离出来并转为 bmp 位图图象格式,再使用遥感图象软件将其转换为纯数据文件(相当于 Photoshop 的 raw 格式),然后,在原型系统数据导入功能的支

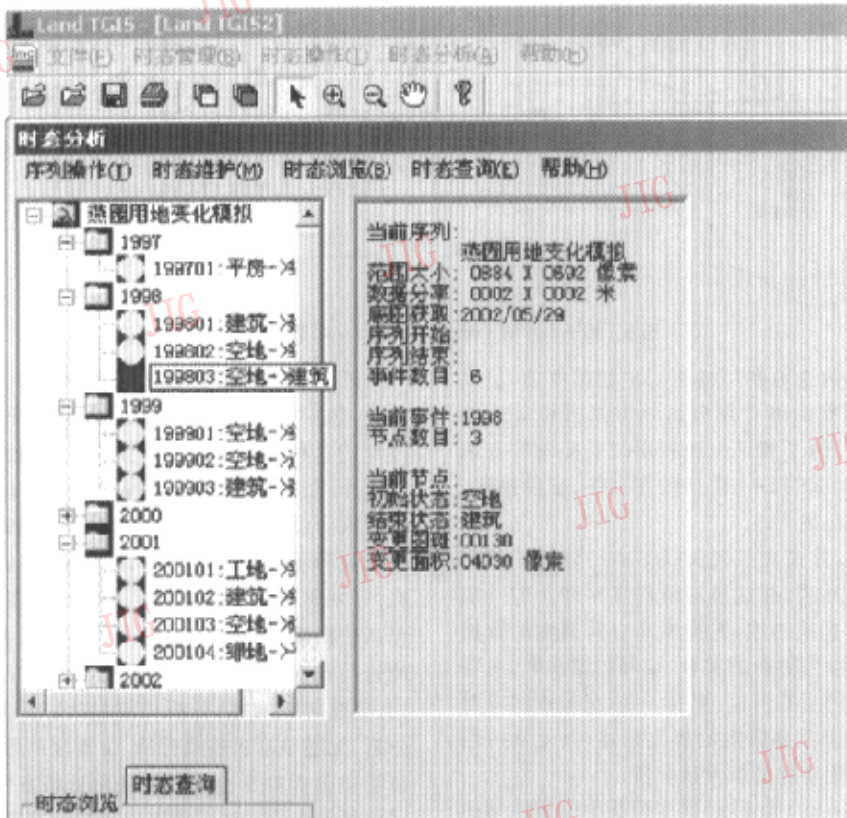


图7 土地利用变化时态操作界面

持下输入数据,建立土地利用时态数据库.完成数据输入后,还对系统的各个功能及其效率分别进行了测试.

实验表明,原型系统较原来的存档管理有质的改变:

(1) 在时态数据管理方面,原型系统基本能够达到数据高效率存储和管理的要求.试验区原来数据量为 31.5M,进行无损游程压缩后数量达到 2M,大大节约了存储空间.同时,在系统管理下的时态数据能够支持高效的查询和浏览.

(2) 在时态数据查询方面,原型系统提供了基本查询功能.可以实现年度和时段的全部和指定变化类型的土地利用时空分布查询,及其相关的统计信息查询.

(3) 在时态数据分析方面,原型系统的统计分析功能目前只能进行对土地利用面积变化的统计分析.但是,对于时态发展规律分析、时态发展预测没有实现.

该原型系统对模型提出的多属性和数据库进行了试验,而对外部属性和外部矢量数据没有实现测试.尽管本文模型提出了外部属性和外部矢量设计的构想,但要从应用层次解决该问题肯定会存在一些技术甚至理论问题(矢栅问题一直是都比较棘手的问题).

#### 4 结论与展望

通过研究,本文在 ESTDM 模型的基础上提出了适用于土地利用变化的时空数据模型 ELSTDM.试验表明该模型能很好地管理和查询试验区的土地利用变化时空数据,为调查成果提供可操作的业务化管理工具,并可以进行一定的时态分析.据此设计的原型系统为国土资源大调查提供了土地利用时态数据的管理、查询和分析的有益尝试.

在本研究中,一些问题尚需进一步探讨.前面已提到的从应用层次实现外部属性和外部数据,还需

要进一步的研究工作。另外,土地利用的时空变化,很适合应用元胞自动机进行模拟,有理由相信时态 GIS 同元胞自动机的结合是很有意义和前景的研究。此外,尽管本文初步提出了通过属性关联的方式来为基于栅格的时空数据模型引入矢量数据,但是要很好的解决这个由来已久的难题尚需大量深入的研究。

**参 考 文 献**

- 1 李小娟. 基于特征的时空数据模型及其在土地利用动态监测中的应用研究[D]. 北京:中国科学院地理所,2000.
- 2 张祖勋. 时态 GIS 的概念、功能和应用[J]. 测绘通报, 1995, 2: 12~14.
- 3 Usery E L, Tang A Y, Adams T M. A spatial data model design for feature-based geographical information systems[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1996, 10(5): 643~659.
- 4 Peuquet D J, Duan Niu. An event-based spatio-temporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1995, 9(1): 7~24.
- 5 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构(C语言版). 北京:清华大学出版社, 1997: 9~12.
- 6 张文江. 基于事件的土地利用时空数据模型研究[D]. 北京:北京大学, 2002.



**陈秀万** 1964年生,北京大学遥感与GIS研究所教授,主要从事水文水利资源遥感、GPS应用和土地变化监测等领域的研究,已发表论文30余篇。



**吴欢** 1978年生,北京大学遥感与GIS研究所硕士研究生,主要从事遥感图象处理、时态GIS研究。



**李小娟** 1965年生,博士,2000年于中国科学院遥感应用研究所获土地遥感应用专业博士学位,现为首都师范大学地理系讲师,研究兴趣包括时空数据模型与时态GIS、3S技术资源环境动态监测。



**张文江** 1976年生,2002年获北京大学遥感与GIS研究所地图学与地理信息系统专业理学硕士学位,主要从事遥感图象处理、土地利用变化动态监测等领域的研究。

**更 正**

由于本刊的疏忽,本刊2003年第7期第743页作者简介中李扬的照片有误,现特在此更正,并向作者表示歉意。



李 扬

《中国图象图形学报》编辑部