

文章编号: 1007-4619 (2002) 05-0370-06

土地利用动态监测中的时空数据模型研究

李小娟¹, 尹连旺², 崔伟宏²

(1. 北京大学环境科学中心, 北京 100871; 2. 中科院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 针对传统 GIS 数据模型存在的问题, 开展了基于特征的时空数据模型研究。结合我国土地利用动态监测, 提出了一个新的时空数据模型——基于变化特征状态的时空数据模型(SCFSTDM), 该模型保持了地理现象的完整性、地理信息的完备性以及时空专题信息的有机集成, 模型有利于面向目标定向分析方法的应用和时空分析与推理的实现, 有利于地理数据的共享。设计和开发了基于 SCFSTDM 的时态土地利用信息系统, 实现了基于特征实例的时空复合查询、时空推理以及动态播放等功能。

关键词: 时空数据模型; 特征; 基于变化特征状态的时空数据模型(SCFSTDM); 时态土地利用信息系统

中图分类号: TP79/P208

文献标识码: A

1 引言

资源环境动态监测与空间信息技术的迅猛发展, 为 GIS 带来了前所未有的发展机遇, 但也使 GIS 面临严峻的挑战。在近乎海量实时的空间数据海洋中, 如何迅速有效地组织、存储、管理和应用时空数据是 GIS 亟待解决的问题。它直接关系到 GIS 及资源环境动态监测能否在科学和应用两个层次上进一步深化和发展。

“对问题的准确表述是解决问题最基础、最重要的环节”^[1]。在 GIS 中, 数据模型提供了抽象和表达客观世界的工具, 它在很大程度上决定 GIS 功能的优劣^[2]。然而由于目前 GIS 的数据模型多从计算机表达出发, 而非面向地学问题, 致使 GIS 在分析与决策等方面的作用极其有限。为此, GIS 受到了诸多非议。

近年来, 国际上许多专家和学者纷纷提出要发展新一代的 GIS。最近, 我国学者也提出“第四代 GIS”的概念, 并被列入国家“十五”863 计划之中。新一代 GIS 将改变传统 GIS 以图层为基础的组织方式, 实现直接面向空间实体的数据组织^[3], 这意味着新一代 GIS 是基于特征的 GIS。

“九五”期间, 我们承担了国家重中之重科技攻关

项目“3S 技术综合应用研究”中的“应用 RS、GPS 和 GIS 进行县级土地利用动态监测”课题, 结合 GIS 的发展趋势和国家标准化组织关于地理信息标准化的最新成果, 对基于特征的时空数据模型进行了探讨, 并在此基础上开发了基于特征的时态土地利用信息系统(原型)^[4]。与传统时空数据模型相比, 该模型在组织和管理时态土地信息、快速实现时空查询、时空推理与动态播放等方面具有较为突出的优势。

2 基于特征时空数据模型的提出

Chrisman 多次指出, 存在两种不同的观察空间战略和编码方式。第一种把空间看成一个被明确的空间目标所干扰的连续空间, 第二种将空间本身看成由明确的区块组成的空间顺序集。两种观察战略形成了两种不同的数据模型: 矢量数据模型和镶嵌数据模型。

近年来, 在传统 GIS 数据模型基础上发展了许多时空数据模型, 如快照模型、基状修正模型、时空复合模型、3D/4D 以及三域模型等。这些研究成果在一定程度上推动了 GIS 的发展。但随着应用的深化, GIS 数据模型暴露出来的问题也越来越明显:

(1) 矢量模型与栅格模型实际上是一种基于地图或图像的模式。模型将地理现象抽象化为空间几

收稿日期: 2001-06-21; 修订日期: 2001-09-26

基金项目: 本研究得到国家“九五”重中之重科技攻关项目“3S 技术综合应用研究”中“县级资源环境动态监测”(96-B02-01-07)课题的支持。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 李小娟(1965—), 女, 讲师, 1999 年毕业于中国科学院遥感应用研究所, 获地图学与地理信息系统博士学位。主要研究领域为空间信息技术在资源环境动态监测中的应用与时态 GIS 的研究。发表论文十多篇。Email: xjli@263.net

何目标,忽视了地理现象的本质特性及现象间的内在联系,使地理现象不具备完整的信息,在很大程度上制约了GIS的分析能力。

(2) 基于传统数据模型的GIS在空间分析上应用了图层叠加的概念,导致地理现象被分解为一系列具有严格边界的图层,GIS无法直接对地理现象命名和操作^[5],难以应用许多已有的地理分析和模拟预测模型。

(3) 难以支持数据共享和GIS互操作。数据是GIS的血液,但大量重复性的数据采集工作仍在继续,一个很重要的原因是目前GIS数据模型缺少对地理现象的显式定义和基础关系的描述,即不能在语义层次上实现数据的共享。GIS互操作在实施中的一个重要问题也是数据模型导致的地理数据语义上的障碍^[6,7]。

(4) 传统时空数据模型极少考虑地理现象的时空特性和内在联系,当地理现象的空间几何形态发生变化时,地理现象被不断碎分,产生越来越多的时空几何目标,使GIS在时空数据组织、管理、查询和分析应用等方面越来越困难。

针对上述问题,国外许多学者提出GIS应对地理现象进行完整的、有机的抽象(Holism),而非简化的表达(Reductionism),GIS需要一个高度统一的框架对地理现象和地理数据进行规范化的理解、表达和组织^[5-12]。

基于特征的思想即是在这种背景下被提出来的。目前,国际上许多相关机构和学者正积极开展这方面的研究。IGIS(Interoperable GIS)概念的提出和发展,使基于特征的数据模型和GIS受到更为广泛的重视。DAVID ARCTUR等学者指出“建立基于特征的数据模型和GIS对于实现GIS互操作、对地理实体进行更新、按谱系查询、进行复杂地理分析具有很好的前景”^[6]。

另外,ISO/TC211和OGC两个标准化组织目前开展的工作都是建立在特征概念基础上的。表明未来空间数据库和GIS设计是朝基于特征、完整表达地理事物的方向发展。不久前,ISO/TC211和OGC达成合作协议,这将推动基于特征地理信息标准化研究和基于特征GIS的发展。

3 基于特征的时空数据模型——概念与优势

3.1 基本概念

ISO/TC211对特征的定义是特征存在于两个层次:

特征类型和特征实例。前者是指具有共同特性的地理现象,后者是特征类型中的一个具体的地理现象^[13]。

特征(feature)是对地理现象的高度抽象和全面表达,包括了地理现象在空间、时间和专题等方面的所有信息。采用基于特征的方法认识和表达客观世界,可以在高层次上抽象和综合表达客观世界的要求,形成表达地理现象的统一框架。更为重要的是,完备的地理信息能在语义层次上达到认识和表达客观世界的统一,有利于GIS实现数据共享和互操作。

基于特征的时空数据模型是“一组由相关关系联系在一起的特态特征集”,是在特征分类和特征实例识别的基础上,在时态和空间参考系统框架下,建立以特征实例为单位的特征属性(包括专题属性、空间属性和时态属性)、特征功能和特征关系等地理信息的全面有机表达(图1)。

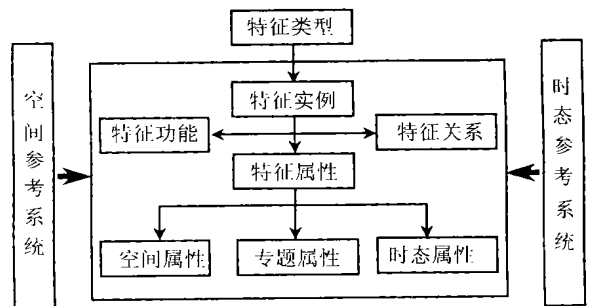


图1 基于特征时空数据模型的概念框架

Fig.1 The conceptual frame of feature-based spatio-temporal data model

基于特征的时空数据模型与传统时空数据模型的区别在于:

(1) 建模对象不同:前者对地理特征建模,后者是对空间几何目标建模;

(2) 信息载体不同:前者以特征实例作为地理信息集成的平台,将空间、时间和专题属性统一到特征实例中,载体具有明确的地理意义;后者是以空间或时空几何目标作为载体,载体地理意义不确切、应用价值低;

(3) 前者在时空专题信息集成的同时,具有地理现象集成的特点,有利海量时空数据的有序组织和管理,便于进行查询与复杂地学分析;后者管理的是地理现象被不断碎分的时空几何目标,在数据组织、管理和分析上存在严重的缺陷。

3.2 基于特征时空数据模型的优势

(1) 基于特征的数据模型有利于时空专题信息集成、发展目标定向分析

特征具有两方面的含义,即是地理现象也是它

的数字化表达。特征是运动和变化发展的,它具有产生、发展、衰减、移动、消亡和再生的特性^[14],这一特点使特征本身成为集时间、空间和专题于一体的对象。寻求对特征的准确理解与全面表达即是解决了保持地理现象完整和时空专题信息集成问题。

在基于特征的 GIS 中,特征实例是最基本的信息表达单元。每一个特征实例具有惟一的标识符,不论是处在生命期或是已经消亡。用于描述特征的属性,功能和关系与特征的标识符封装在一起,可以全面描述特征发生发展的特点;通过特征标识符,特征的一系列状态或事件被有机地联系或组织起来,有利于时空数据管理、查询,为目标定向分析方法的应用提供基础。

(2) GIS 功能进一步扩展

在基于特征的 GIS 中,特征可以通过聚集(aggregate)或联合(associate)形成更为复杂的特征。例如城市是由道路、工矿、居民地、公园和其它基础设施组成的复杂特征,通过聚集、联合方法可以由简单特征构成复杂的特征。

特征可以被做为惟一的关键字用于获取多种数据集,包括矢量和栅格的空间数据集。与特征有关的操作可以实现特征所具有的功能和行为,如特征的新生、扩张、收缩、消亡、移动和再生等。

(3) 基于特征的数据模型得到空间数据结构的支

采用基于特征的模型化技术不仅使 GIS 数据模型从根本上得到改进、系统性能得到提高,同时也提供了有效的实现机制。基于特征的数据模型,可以得到面向对象数据库和编程技术的支持。

基于特征的模型化技术提供了一种标准和有效的方法来直接建立符合人们认识现实世界模式的数据模型,并提供了有效的实现机制。采用基于特征的模型化方法,可以概括人们对地理现象的完整认识,构造一种高层次、完备的 GIS 数据模型。从根本上解决 GIS 面临的时空信息集成、时空分析等问题,并通过特征的完备语义在数据模型层次上建立地理数据共享的基础。

4 土地动态监测领域基于特征时空数据模型的设计

4.1 基于特征的时空数据模型设计依据

4.1.1 我国土地动态监测内容及在基于特征 GIS 中的含义

土地利用动态监测,按其意义和任务分经济效

果监测、利用类型监测、利用水平监测、土地质量监测和土地权属监测等。目前,我国土地利用动态监测的主要任务是监测土地利用类型的变化,即监测各种用地类型在空间上的变化情况,回答“哪里发生了变化,由什么变成什么”等问题。

上述监测任务在基于特征的 GIS 中,相当于特征实例空间属性变化的监测。在基于特征的 GIS 中,我们可以提供更多的答案。例如,某一个特征实例是否发生变化?是如何变化的?一个特征实例的空间变化导致哪些特征实例发生变化、如何变化等一系列时空变化的问题。

我们将特征实例空间属性的变化形式划分为以下 5 种形式:

(1) 扩张:是指特征实例的空间范围扩大(面积增加),如城市与居民地的扩张。

(2) 收缩:是指特征实例的空间范围缩小(面积减少),如耕地由于居民地扩张而收缩,道路穿过居民地而使居民地分裂为若干个空间目标。

(3) 消亡:是指当一个特征实例的指示性主题属性发生变化或由于其它特征实例在空间上扩张等原因,而使原有特征实例从空间上消失。

(4) 新生:是指一个新的特征实例诞生,它将导致相邻特征实例收缩或消亡。

(5) 复生:是指已经消亡的特征实例经过一段时间后重新出现。退耕还林还草即是复生类型的变化。

上述 5 种类型的空间变化方式划分的方法,与 ISO/TC211 将时态特征变化分为分裂(Division)、合并(Fusion)、替换(Substitution)等类型相比,更全面地反映特征实例空间变化的特点。

4.1.2 我国土地利用动态变化的基本特点

我们应用“3S”技术对包头郊区 2000 多平方公里的土地利用变更进行了调查(变更时间 1992 年至 1998 年),发现土地利用变化的一个基本特点是:发生变化的特征实例是少数的,而未变化则占大多数。例如,1992 年全郊区土地利用详查图共有 26,510 个图斑,实地测量的土地利用变化图斑共有 703 个。包头郊区前明乡与包头市区相接,是郊区各乡中土地利用变化较大的乡。前明乡 1992 年土地详查图上一共有 923 块图斑,调查测量了 106 块变化图斑。其他实验研究区如四川攀枝花、吉林德惠等地也具有上述特点。

事实上,土地利用是人们在长期生产实践中,根据土地自然、经济和社会等因素形成的一种相对稳定的人地关系,因此其年度变化有限性是合理的。

这一基本特点是我们建立适于土地利用动态监测信息系统数据模型的一个重要依据。

4.1.3 土地动态监测与特征实例数据的获取

应用 3S 技术进行土地利用动态监测,首先是在遥感影像上寻找靶区(可能发生变化的区域)。一般是在遥感影像上寻找扩张、新生和复生类型的特征实例,并在野外经过验证后通过 GPS 进行测量。

对新生类型的实例一般是完整测量它的边界,此时获取的空间数据即是该特征实例的空间属性数据;扩张类型的特征实例,在野外测量的方式较多,可以测量扩张部分(称空间事件),也可以测量新状态的整个空间边界(称空间状态);在 GIS 空间叠加分析功能的支持下,我们可以通过空间事件推求空间状态。对于那些空间收缩的特征实例,一般采用空间叠加分析得到它的空间新状态。

4.2 基于变化特征状态的时空数据模型(SCFSTDM)

4.2.1 基于变化特征状态的时空数据模型描述

(1) 基于变化特征状态的时空数据模型(State of Changing Feature Based Spatio-temporal Data Model, 以下简称 SCFSTDM)以特征实例为建模对象和信息组织的单元,任何时候都记录特征实例完整的状态:首先记录每一个特征实例在初始时的状态;当特征

实例的状态发生变化时,记录该特征实例新的状态。

(2) 在土地利用动态变化中,一个特征实例在空间上的变化必然导致其它特征实例在空间上发生相应的变化。因此发生变化的特征实例不仅是那些扩张或新生的特征实例状态,同时也包括那些由于扩张或新生导致空间上缩小或消亡了的特征实例。

(3) 在 SCFSTDM 中,定义一个特征实例标识,由该标识惟一地确定各个特征实例。即使该特征实例消亡,标识仍然归其所有;类似地,每一个特征实例的不同状态也都具有惟一的标识,称版本标识。通过特征标识、版本标识以及特征实例版本之间的联系,特征实例的发展变化被有机地联系起来。特征实例的发展过程是由特征实例的一系列版本所组成的有序元组,特征实例的事件可由特征实例的状态进行推算。

图 2 是土地利用动态变化示意图,图中共有 5 个实例 A、B、C、D 和 E。C 在 T³ 消亡,在 T⁴ 复生;D 一直保持初始状态,E 是在 T⁴ 新生的特征实例。

特征实例的变化方式描述见表 1,其中“—”表示“未变化”,“null”表示“无”,图 3 是采用 SCFSTDM 对图 1 特征实例动态变化的抽象与表达。其中,S 符号表示状态(State),1,2,3 等表示版本号,As¹ 表示特征实例 A 的第一个状态,或称 A 的第一个版本,As² 表示 A 的第二个版本,余者类推。

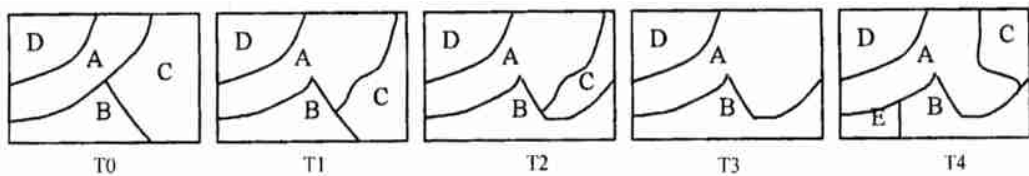


图 2 土地利用动态变化示意图

Fig-2 Landuse changing

表 1 特征实例的变化方式

Table 1 The changing type of feature instance

| | A | B | C | D | E |
|----------------|----|----|----|----|------|
| T ⁰ | 基状 | 基状 | 基状 | 基状 | null |
| T ¹ | 扩张 | — | 收缩 | — | null |
| T ² | — | 扩张 | 收缩 | — | null |
| T ³ | 扩张 | — | 消亡 | — | null |
| T ⁴ | 收缩 | 收缩 | 复生 | — | 新生 |

态,后者只记录变化),同时克服了两者的缺陷。与这两个模型相比,SCFSTDM 具有 3 个特点:

(1) 与快照模型相比,SCFSTDM 存储所有特征实例的初始状态以及特征实例发生变化后的新状态,但不重复记录未发生变化的实例状态,因此节约了大量的存储空间。

(2) 与基于事件的时空数据模型相比,SCFSTDM 变记录事件为记录特征实例的新状态,保持了地理现象的完整性和统一性。

(3) 基于特征的建模和表达具有明确的地理意义,可以直接进行基于特征实例的发展过程或反演查询与动态播放;同时由于模型中包括了特征实例

4.2.2 SCFSTDM 的特点

SCFSTDM 借鉴了快照模型和基于事件时空数据模型中的优势(前者记录不同时刻所有目标的状

之间、实例与其版本之间的多种联系,可以方便地进行状态查询和事件推导;有效地支持时空分析和时空推理,基本满足用户的需求。

5 实验与讨论

在基于特征时空数据模型研究的基础上,利用 MS Visual Basic 和 ESRI 的 Mapobjects,按照面向对象的编程思想设计并开发了基于 SCFSTDM 的时态土地利用信息系统。系统在时态方面实现了表 2 所列的功能。

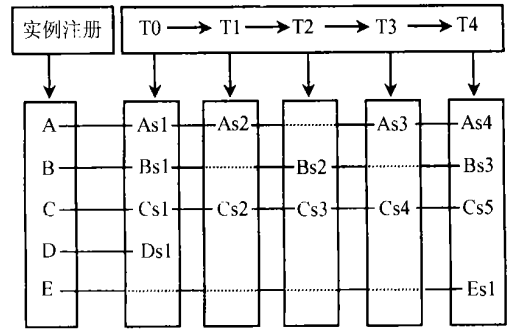


图 3 基于特征的时空数据模型

Fig.3 Feature-based spatio-temporal data model

表 2 系统部分功能说明

Table 2 Description of menu in spatio-temporal landuse information system

| 一级菜单 | 二级菜单 | 功能描述 |
|------|--------|---|
| 动态演播 | 动态播放 | 动态播放全部特征实例的发展过程。 |
| | 实例发展 | 动态播放指定特征实例的发展过程。 |
| | 实例回溯 | 动态播放指定特征实例的逆发展过程。 |
| 时空查询 | 全局时间快照 | 通过给定的时间,查询某一年土地特征实例的状态。 |
| | 变化时空分布 | 指发生变化的特征实例在时间和空间上的分布。通过拖动时间滑块,系统自动闪动该年发生变化的实例,用户可以清楚地知道发生变化的特征实例在时间和空间上的分布。 |
| | 变化空间分布 | 查询任一时间段、满足专题属性条件的变化特征实例在空间上的分布。 |
| | 复合时空查询 | 通过时间、空间和专题属性的组合进行更为复杂的时空查询。如查询在指定时段、指定区域、满足指定变化条件的特征实例。 |
| | 时空关系推理 | 退缩 |
| 消亡 | | 查询由于某一特征实例变化而引起消亡的特征实例。 |
| 变化 | | 查询与某一个变化特征实例在时空上相关联的特征实例,包括退缩和消亡特征实例。 |

应用内蒙古包头市郊区(“应用 RS、GPS 和 GIS 进行县级土地利用动态监测”课题的示范区之一) 1992 年详查数据及 1992 至 1998 年的动态变化数据进行测试,表明该模型具有一定的应用价值。它在以特征实例为监测对象的应用领域如地籍信息系统、交通信息系统也具有较好的移植性。

基于特征的数据模型力求从根本上解决传统 GIS 在数据组织、时空查询与分析推理中存在的问题,同时为数据共享和 GIS 互操作寻求新的解决方案,它是新一代 GIS 的核心,符合国际上 GIS 的最新发展趋势。总体上看,基于特征的 GIS 研究尚处于起步阶段,需要围绕基于特征的数据建模技术、特征分类、特征实例识别及特征地理信息的表达、数据结构、基于特征的时空查询、推理与分析模拟预测等问题展开全面的研究。

参 考 文 献 (References)

[1] Worboys M F, Hearnshaw H M, et al. Object-oriented Data Modelling for Spatial Databases [J]. *International Journal of Geographic Information Systems*, 1990, 4(3): 369-383.

[2] Peuquet D J. A Conceptual Framework and Comparison of Spatial Data Models [J]. *Cartographica*, 1984, 21(4): 66-113

[3] Fang Y, Zhou C H, Jing G F, et al. Software of the Fourth Generation GIS [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, 6(9): 817-823. [方裕,周成虎,景贵飞等.第四代 GIS 软件研究[J].中国图象图形学报,2001,6(9):817-823.]

[4] Li X J. Feature-based Spatio-Temporal Data Model and Its Application in Landuse Monitoring Information System [D]. Beijing: The Institute of Remote Sensing Applications CAS, 1999. [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信息系统中的应用[D].北京:中国科学院遥感应用研究所,1999.]

[5] Goodchild M F. A Spatial Analytical Perspective on Geographical Information Systems [J]. *International Journal of Geographic Informa-*

- tion Systems, 1987, 1(4):327—334
- [6] Arctur D, Hair D, Timson G *et al.* Issues and Prospects for the Next Generation of the Spatial Data Transfer Standard (SDTS) [J], *International Journal of Geographic Information Systems*. 1998, 12(4): 403—425.
- [7] Bishr Y. Overcoming the Semantic and Other Barriers to GIS Interoperability [J]. *International Journal of Geographic Information Systems*. 1998, 12(4):299—314
- [8] Christman. Fundamental Principles of Geographic Information Systems [C] Proceedings of Auto-Carto 8, Bethesda, MD: American Congress of Surveying and Mapping, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 1987, 32—41.
- [9] Peuquet D J. Representations of Geographic Space: Towards a Conceptual Synthesis [C]. Annals of the Association of American Geographers, 1988.
- [10] Rugg R D Defining Standard Feature [J]. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1995, 22(3):195—204.
- [11] Usery E L. A Feature-based Geographic Information System Model [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1966, 62(7): 833—838.
- [12] Tang A Y, Adams T M and Usery E L. A Spatial Data Model Design for Feature-based Geographical Information Systems [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1996, 10(5):643—659
- [13] ISO/TC211-N604, Feature cataloguing methodology [R], 1998.
- [14] Langran G. Time in Geographic Information System [M], London: Taylor & Francis, 1992.

Spatio-Temporal Data Model for Landuse Monitoring

LI Xiao-juan¹, YIN Lian-wang², CUI Wei-hong²

(¹. Center of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

². Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Traditional data model takes the geometric object as the modeling target and results directly in decomposing geographic phenomena into a series of objects. Furthermore, the temporal data and spatial data are stored separately. All of those restrict the development of GIS and resources monitoring. Feature-based spatio-temporal data model can support the next generation of GIS effectively. In this paper, based on the landuse monitoring research project of the five year plan of our country, we propose a new spatio-temporal data model based on the states of the changing feature (SCFSTDM) in order to serve for integrating geographic phenomena and geographic information as well as applying object-oriented analysis method to support spatio-temporal analysis, simulation and data sharing.

Finally, we develop a prototype of the temporal landuse information system in which there is a spatio-temporal database based on the feature. With this system, we can query states of the feature instance directly, for example, to query the states and to play the developing process of a feature instance, to make the spatio-temporal reasoning.

Key words: spatio-temporal data model; feature; state of the changing feature-based spatio-temporal data model (SCFSTDM); temporal landuse information system