

# 时态 GIS 的基本概念、功能及实现方法

吴信才, 曹志月

(中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074)

**摘要:** 数据在具有空间性的同时亦具有时间性, 时态地理信息系统是具备处理数据时间性功能的地理信息系统. 简要介绍了时态 GIS 中的时间、时间粒度、时间戳、应答时间等基本概念及其分析、更新、显示等功能, 以及时空数据表示、不确定性、多标度等时态 GIS 的相关问题. 重点讨论了时态 GIS 的 2 个基本数据模型: 关系模型和面向对象模型. 关系模型具有语义丰富、理论完善、高效灵活等特点, 从而使人们开始尝试在关系模型中加入时间维, 并利用关系代数和查询语言来处理时态数据, 关系模型包括归档保存、时间片、记录级时间戳等实现方法. 面向对象模型提供了聚合、关联等机制, 易于支持时态 GIS 中的各种时空数据. 面向对象模型包括 OSAM/T 模型和 Inith OO 模型等.

**关键词:** 地理信息系统; 时态 GIS; 空间; 对象.

**中图分类号:** TP319      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2002)03-0241-05

**作者简介:** 吴信才(1953—), 男, 教授, 1982 年毕业于武汉地质学院物探系电子专业, 现主要从事地理信息系统研究和应用. E-mail: mapgis@public.wh.hb.cn

地理信息系统(GIS)是对与地理空间相关的数据进行有效管理和综合分析的计算机系统<sup>[1]</sup>, 由于现代科学研究和工程应用对大量空间数据进行有效处理的迫切要求, 以及计算机技术的高速发展, GIS 的应用日益广泛<sup>[2~4]</sup>. 然而, 现实世界的的数据不仅与空间相关, 而且与时间相关. 在环境监测、抢险救灾、交通管理等许多领域, 相关数据随着时间的变化而变化. 如何处理数据随时间变化的动态特性, 是 GIS 面临的新课题.

现有的 GIS 大多不具有处理数据的时间动态性, 只是描述数据的一个瞬态(snapshot). 当数据发生变化时, 用新数据代替旧数据, 系统成为另一个瞬态, 旧数据不复存在, 因而无法对数据变化的历史进行分析, 更无法预测未来的趋势. 这类 GIS 亦称为静态 GIS.

许多应用领域要求 GIS 能提供完善的时序分析功能, 高效地回答与时间相关的各类问题, 在时间与空间两方面全面处理地理信息系统, 即所谓时态 GIS(temporal GIS). 时态 GIS 作为 GIS 研究和应

用的一个新领域, 正受到普遍的关注. 而且, 随着存储和高效技术的飞速进步, 它为大容量时态数据的存储和高效处理提供了必要的物质条件, 使时态 GIS 的研究和应用成为可能.

早在 20 世纪 70 年代末层次数据模型就被用来表示和处理区域边界随时间而变化的问题. 虽然其结构没有表示拓扑关系, 也不能高效地查询出 2 个时间状态的差异, 但却是时态 GIS 应用的最早尝试. 近年来时态 GIS 的研究取得了许多重要的成果, 推动了时态 GIS 的实际应用发展. 美国海洋服务机构 NOS 从 1992 年开始使用 Intergraph 公司的自动制图系统 ANCS, 用改进的时空数据结构处理有关海岸线、航海辅助设施等每年的变化情况. 美国地质调查机构 USGS 正在建立“国家数字地图数据库 NDCDB”, 实现对经常更新的国土利用图的管理. 可以断言, 未来十年内时态 GIS 技术将在 GIS 领域中得到广泛的应用, 进一步推动 GIS 的迅速发展.

本文对时态 GIS 的基本概念、主要问题、数据模型、实现方法等重要问题进行阐述, 介绍了这些方面国内外研究的最新成果, 同时发表了笔者的一些看法.

## 1 时态 GIS 中的基本概念

空间、时间和属性构成地理信息的 3 种基本成分。时态 GIS 是能够跟踪和分析随时间变化的空间、非空间信息的地理信息系统。时态 GIS 有时亦被称为 4D GIS, 意为在三维空间上加上时间维。在讨论时态 GIS 之前, 笔者对时态 GIS 中涉及的对象进行分类, 以便了解这些对象的基本特性: (1) 根据事件发生频率可分为发生频率较高的和发生频率较低的; (2) 根据系统确定位置的方法可分为使用绝对地理位置的和使用相对地理位置的; (3) 根据空间和属性变化的主导性可分为以空间变化为主的和以属性变化为主的; (4) 根据变化形成可分为连续的和离散的; (5) 根据对象生命期的不同可分为长期的、中期的和短期的; (6) 根据目标空间结构可分为连续分布结构、多边形结构、网络结构及多边形和网络混合结构; (7) 其他有特殊要求的时空对象。

一个应用领域可能会涉及上述分类中的一种或多种空间对象, 但一个完整通用的时态 GIS 应当能够处理上述的各类对象。

在时态 GIS 中, 如何准确定义和表示时间特性是一个最基本的问题。以下讨论几个基本概念。

(1) 时间。时态 GIS 中通常把时间分成 2 种基本类型: 事务时间(亦称物理时间、数据库时间)和有效时间(亦称逻辑时间、事件时间、数据时间或世界时间)。有效时间是指事件在现实中发生的时间, 而事务时间指事件被记录在数据库中的时间。这两类时间在应用中是相关的。由于事件常是在发生后才被记录在库中, 所以有效时间一般要早于事务时间; 若两者相等, 就可以认为现实事件就是数据库事务, 而有效时间亦可能晚于事务时间, 则意味着系统可包括未来事件的信息, 这在一些应用中是很有意义的。Lum 等<sup>[5]</sup>讨论了对未来时间的处理。事务时间和有效时间是正交的。Snodgrass 等<sup>[6]</sup>根据对这两类时间的支持能力将数据库分成静态(快照)数据库、回滚式数据库、历史数据库和时态数据库。其他的时间概念还有现实时间、用户定义时间等。

(2) 时间粒度(time granularity)。由于计算机的数字化特点, 不可能将时间存储为一个连续的实体, 而必须用离散形式来表示。时间粒度是对离散化程度的度量, 当以固定时间粒度对实体状态采样时, 粒度越小表示越精确, 但太小的粒度又会导致内存开销的增加。实际实现时, 往往在两者间折中权衡。当

系统以状态改变时来记录信息的方式, 则时间粒度是变化的, 或者时间粒度的语义由不同应用的需要而定。理想的时态 GIS 应支持用户选择各类粒度的能力, 并提供方便灵活的不同粒度间的转换机制。

(3) 时间戳。把时间看作事件的一个属性, 通常存在 2 种处理方法: 一种方法是只用一个时间戳标记事件发生的时间。这种方法显然会节省内存, 免去冗余数据和空值(不考虑循环情况时), 但对有关时间区段的查询, 系统的应答时间就会很长。另一种较好的方法是每个状态以一个时间戳: since 和 until 来标记, 表明状态的一段区间。这种机制方便了时间区段查询, 但时间戳有时会出现空值或伪值引来操作和计算上的复杂化。

(4) 应答时间。应答时间是 GIS 响应用户查询和分析要求的时间, 也是时态 GIS 中需要考虑的一个重要概念。由于 GIS 要处理大量的时空属性数据, 就会出现查询效率与尽量经济地使用有限存储空间实现时空支持之间的矛盾。时态 GIS 只能在两者间权衡, 在提高时空查询应答时间的同时, 尽可能控制数据冗余, 从而增加数据库的信息容量。

## 2 时态 GIS 的相关问题

从功能上讲, 时态 GIS 除了应具备静态 GIS 的所有功能外, 还应该提供: (1) 档案功能, 记载相关区域随时间的演变。(2) 分析功能, 以变化为参照, 考察历史数据, 预测未来。(3) 更新功能, 保持 GIS 数据的现时性, 延长服务期。(4) 显示功能, 以真实的动态方式, 回答用户关于“哪里”、“何时”、“怎样”的询问。(5) 其他功能, 包括检查新旧数据的逻辑一致性, 预定义某些时空临界状态, 并识别、预报它们。

由于具有时空特性的地理数据的复杂性和现有计算机技术的局限性, 因此要在时态 GIS 中实现令人满意的时空集成, 还存在许多困难。

### 2.1 时空数据表示

GIS 中主要有 2 种类型的数据: 矢量数据和栅格数据。其中栅格形式适用性较广, 还可通过层次结构高效地处理。四叉树是表示二维栅格数据的理想方法之一, 表示三维栅格数据则需要八叉树。郭达志等<sup>[7]</sup>提出了用十六叉树表示矿山 GIS 中的空间和时间四维数据模型。但对离散变化、多边形、网络结构等空间对象, 栅格形式就并非高效。矢量和栅格数据并存能够满足更为广泛的应用要求, 但要实现紧

密一体化的矢一栅 GIS 仍是 GIS 的难题之一<sup>[8]</sup>。而在时态 GIS 中对数据表示有更高的要求,即以各种形式在不同抽象层次上处理时空数据,支持矢量时空相关数据的高效管理。这比静态 GIS 复杂得多。

针对时态 GIS,人们已经研究出了时空数据的多种组织方法,但都不太完善。较有代表性的是将时间作为信息空间中新的一维,这是一种概念上最直观的方法。Berry<sup>[9]</sup>最早使用了三维地理矩阵,以位置、属性和时间分别作为矩阵的行、列和高。Hazleton 等<sup>[10]</sup>则研究了相关的高维几何、高维拓扑。加拿大水文地质局提出了一种螺旋型超空间编码(HH-codes),这是一种处理多维时空数据的高效有力的方法。组织时空数据的方法还有基态修正法和时空复合法。时间作为新的一维虽然概念意义明确,但其实现过程导致了存储空间无限增长的趋势,而存储数据基态和变化量的基态修正法则有效地控制了这种增长。后者的缺陷是对于对象在时间上的内在联系反映不直接,给时空分析带来了困难。张祖勋等<sup>[11]</sup>提出了一种分级索引方法,改进了相对基态的修正方式。时空复合法,允许我们非时态地处理空间和非空间地处理时间,但这种方法关于时空数据的检索和拓扑算法还有待进一步研究。

## 2.2 不确定性

时态 GIS 中的数据在空间、非空间属性及时态性上具有不确定性。关于不确定性问题的表示和处理,已进行了许多研究。其中,文献<sup>[12]</sup>中讨论了一种相对比较简单的办法,提出了“不确定性面”的概念。每个对象类别给一个面,类似于“阴影图”,其中加入不确定信息。

## 2.3 多标度

现实中各种现象和变化过程的度量与标度密切相关,不论时间、空间还是属性,它们量的多少及变化性的大小都是以某种标度来衡量的。时空数据的多标度性无疑使时态 GIS 中的数据分析和操作复杂化。为使时态 GIS 能够提供理想的支持多标度时空数据的能力,人们进行了各种尝试。一种方法是各标度数据都以最高分辨率存贮,当需要最低分辨率时再派生。这种方法直观,易于理解,但它的自由泛化能力受到很大的限制。Berry<sup>[12]</sup>于 1993 年讨论了这一问题,提出利用持续可表示特性,考虑使用 Beller 等<sup>[13]</sup>的插值和时态平化函数。Edwards<sup>[14]</sup>还研究了多标度时态管理中与模糊性相关的问题。

# 3 时态 GIS 实现方法

目前时态 GIS 的实现主要有 2 种途径:一种是扩展传统的关系模型;另一种是采用面向对象的方法。

## 3.1 地理关系模型

由于传统关系模型语义丰富、理论完善,以及具有许多高效灵活的实现机制,人们开始尝试在传统关系模型中加入时间维,扩充关系模型、关系代数及查询语言以处理时态数据,从而直接或间接地基于关系模型支持时空数据的存贮、表示和处理<sup>[5]</sup>。基于这一思想,主要有下列方法:(1)归档保存。这是一种支持时态数据的最原始、最简单的方法,就是以规则的时间间隔备份所有存贮在库中的数据。这种方法的不足十分明显,主要有:①发生在备份间的事件未被记录,致使部分信息丢失;②对存档信息的搜索慢且笨拙;③许多数据重复归档存在大量的数据冗余。(2)时间片。这种方法是将库中某时刻的时空信息存贮在一个平面文件或二维表格中,即所谓时间片(time-slice)。当发生变化时,将当前状态表存贮起来,并给定一个时间戳,然后复制出来并更新为新状态。与归档保存相比,这一方法在效率上有所改善。但仍存在大量的数据冗余,而且使用一个时间戳时,对有关生命周期的查询会非常繁琐。使用两个时间戳时,对特定属性变化的查询,又需检测所有时间片。(3)记录级时间戳。这种方法将时间戳作用于记录(或元组)级,而非整个关系,时间戳可采用前面提到的 2 种方法。其实现过程是:当发生事件时,将当前记录标记时间戳,然后建立一个具有变化后新属性值的记录加入表中。新记录的加入可以有 3 种不同的方法。最简单低效的方法是把新记录加在表尾。这将得到一个规整的时序视图,但也意味着需要频繁地顺序搜索来应答查询。Snodgrass 等<sup>[15]</sup>描述了另一种方法,即将相关的记录依时序放在一起。这种方法对于关于生命期的查询非常便利。第 3 种方法是对每一时间片以同样的方式对表中记录排序。这种方法的问题在于若发生一事件时,某记录没有发生变化,那它仍需复制或空白填充不变的记录。上述这些方法都存在一个共同的缺陷:关系表会变得越来越长,导致应答时间的下降。Lum 等<sup>[5]</sup>提出了另一种称作链式元组级时态 GIS 的实现方法,工作原理是由 2 个关系而不是一个关系来表示时态实体;第 1 个关系只存贮当前状态,每当事件发生时便更新;第 2 个关系以链式保存所有历史记录。这样在

相关的记录间建立了简单的便利存取路径,提高了效率,而且删除记录也非常容易,但需要整个记录时并不方便.一种改进的方法是分离时变属性与非时变属性,从而节省内存开销,对历史数据存取快速,减少更新费用.

### 3.2 面向对象(object-oriented)方法

对复杂的时间信息,当今大部分基于关系模型的 GIS 是通过大量元组牵强地表示,对一些无法表示的语义属性只能在外部描述.而在面向对象(object-oriented,简称 OO)模型中,提供了泛化、特例化、聚合和关联等机制,易于支持时态 GIS 中各种形式的时空数据,其中可以使用矢量数据或栅格数据,也可以是不同数据类型的集成.数据结构和方法的封装便于数据对象不同表示间的转换<sup>[16~18]</sup>.在处理时空不确定性方面,OO 技术也体现了优越性.

OO 方法已逐渐被时态 GIS 采用.在面向对象的时态 GIS 研究中,较为典型的成果有 Inith OO 模型和 OSAM/T 模型. Inith OO 模型<sup>[18]</sup>提供了唯一的对象标识,将对象完全封装起来,用灵活的相关语义说明内部对象的关联.版本化的实现是通过使用 has-version 关系,将当前状态中的对象与过去不同时刻的对象状态相关联,每个版本又使用 predecessor/successor 关系与其前后的版本相连接.这一机制方便了对象的版本集合或某个版本的存取.时态维的实现是通过在对象结构的适当层次上附加时间维的方式而实现的,这样可在线性版本序列或版本树中描述时态拓扑关系. OSAM/T 模型<sup>[19]</sup>使用了对象时间戳方法,记录对象、对象的历史和对象间关联的历史,使历史数据和当前数据在物理上、逻辑上分离,历史数据区可采用分布式存贮或静态存贮.该模型的不足之处在于未能对物理时间给予支持. Monia 和 Richard 提出的基本 OO 语义的时空数据模型通过对象和事件在数据模型中相互作用的方法集成了空间和时间维(据文献<sup>[19]</sup>).

## 4 结语

时间作为空间数据的基本特性,其重要性是显而易见的.时态 GIS 的研究工作正受到广泛的重视,实际上,通用数据库也面临数据的时间性问题,相关的研究工作也取得了一定的进展.在时态 GIS 中的时空混合使问题变得复杂得多.从总体上讲,这一领域的研究工作仍处于进步阶段,许多重大问题

仍有待解决.

### 参考文献:

- [1] 吴信才.地理信息系统的基本技术与发展动态[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(4):329-333.  
WU X C. Basic technology and development of geographic information system [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(4): 329-333.
- [2] 潘继平,王华,甘甫平.基于 GIS 的石油勘探图形库系统分析和设计[J].地球科学——中国地质大学学报,2001,26(1):59-62.  
PAN J P, WANG H, GAN F P. Analyzing and designing graphic database system of prospecting for petroleum based on GIS [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(1): 59-62.
- [3] 郑贵洲.地理信息系统(GIS)在地质学中的应用[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(4):420-423.  
ZHENG G Z. Application of geographic information system in geology [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(4): 420-423.
- [4] 李超岭,张克信.基于 GIS 技术的区域性多源地学空间信息集成若干问题探讨[J].地球科学——中国地质大学学报,2001,25(6):545-550.  
LI C L, ZHANG K X. Study on regional multi-source geological spatial information system based on techniques of GIS [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2001, 25(6): 545-550.
- [5] Lum V, Dadam P. Designing DBMS support for the temporal dimension [A]. Proceedings SIGMOD'84 conference [C]. Boston: USA SIGMOD Record, 1984, 14(2): 115-130.
- [6] Snodgrass R, Ahn I. Temporal database [J]. Computer, 1986, 19(9): 35-42.
- [7] 郭达志,杨维平,韩国健,等.矿山地理信息系统的空间和时间四维数据模型[J].测绘学报,1993,22(1):33-40.  
GUO D Z, YANG W P, HAN G J, et al. Four dimensions data models of mine geographic information system based on space and time [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1993, 22(1): 33-40.
- [8] Flowerdew R. Spatial data integration [J]. Geographical Information System, 1991, 1: 375-387.
- [9] Berry B. Approaches to regional analysis; a synthesis [J]. Annals of the Association of American Geographers, 1964, 54: 2-11.

- [10] Hazelton N W J, Williamson I P. On the design of temporally-referenced, 3-D geographic information systems: development of four dimensional GIS [A]. Proceedings of GIS/LIS'90[C]. Anaheim, California: [s. n.], 1990. 357—372.
- [11] 张祖勋,黄明智. 时态 GIS 数据结构的研讨[J]. 测绘通报, 1996, (1): 19—22.  
ZHANG Z S, HUANG M Z. Discussing on data structure of time-dimension GIS [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 1996, (1): 19—22.
- [12] Berry J K. Beyond mapping: concepts, algorithms and issues in GIS [A]. GIS World Books [C]. [s. l.]: Longman, 1993.
- [13] Beller A, Giblin T. A temporal GIS prototype for global change research [A]. Proceedings of GIS/LIS'91 [C]. Atlanta GA: [s. n.], 1991. 752—765.
- [14] Edwards G. The integration of remotely sensed data analysis into GIS: time and uncertainty management need [A]. Proceeding of Canadian Conf on GIS [C]. Canada: [s. n.], 1992. 432—440.
- [15] Snodgrass R, Ahn I. A taxonomy of time in databases [A]. Proc of the SIGMODE'85 conference [C]. New York: ACM, 1985. 236—245.
- [16] Bailin S C. Object-oriented requirements analysis [A]. In: Marciniak J J, ed. Encyclo-media of software engineering [C]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1994. 740—756.
- [17] Wright D T. Object-oriented software design techniques for process control [J]. Trans Inst MC, 1994, 16(1): 48—56.
- [18] Kemp Z, Oxborrow E. An object model for distributed multimedia geographic data [A]. Proc of EGIS'92, third European conference on geographic information system [C]. Munich, Germany: [s. n.], 1992. 1294—1303.
- [19] Su S Y W, Chen H M. A temporal knowledge representation model OSAM/T and its query language OQL/T [A]. Proc of the 17th Inter Conf on very large databases [C]. Barcelona, USA: [s. n.], 1991. 431—441.

## Basic Conception, Function and Implementation of Temporal GIS

WU Xin-cai, CAO Zhi-yue

(Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Data possess spatiality and temporality, and a temporal GIS is a GIS that has the function of processing temporal data. This paper briefly introduces the basic conception and function of temporal GIS, the former including time, time mark, response time, etc., and the latter, analysis, updating, showing, et al. It also discusses the associated problems in temporal-spatial data representation, indefinability and multi-scale. Meanwhile it expounds emphatically the two basic data models, i. e. relation model and object oriented model, relation model has characteristic of rich meaning, integrated theory, high efficiency and so on. Adding time-dimension to relation model is attempted, and temporal data are treated with relation algebra and query language. Relation model includes three or more implement methods: classifying save, time segment and time mark. Object-oriented model provides many mechanisms, such as aggregation and relevancy. Many kinds of temporal space data are sustained in temporal GIS. OSAM/T model and Inith OO model are included in Object-oriented model.

**Key words:** geographic information system (GIS); temporal GIS; space; object.