

技术 方法

时态 GIS 初探

袁 峰, 周涛发, 岳书仓

(合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009)

[摘 要] 时态 GIS 是 GIS 一个新兴的研究领域, 目前仍处于理论与模型的研究阶段。文章总结了时态 GIS 的研究现状, 介绍了时间数据库与时空数据库的概念以及类型。在已有的研究成果基础上, 归纳出了时态 GIS 的主要功能, 应包括输入、存储、编辑和更新, 时空数据库管理, 查询和检索, 时空分析, 显示和输出等功能模块。并提出了基于传统 GIS 解决时间方面问题的一些思路。

[关键词] 时态 GIS 时空数据库 模型

[中图分类号] P628 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2003)01-0054-04

地理信息系统 (GIS - Geographic Information System) 应用领域目前已发展到近 60 多个, 且用户数每年以 2.6 倍左右的速度增长, GIS 已经从实验研究进入实用阶段。计算机技术的迅速发展, 使得 GIS 的功能和特点也随之发生了巨大的变化, 尤其是近些年来, 计算机大容量存储介质、多媒体技术和可视化技术等相继被引进到 GIS 中, 已使 GIS 发生了新的变化。三维问题、时态问题、数据质量、数据交换与 OGIS、工程学问题、WebGIS、可视化与虚拟 GIS、面向对象 GIS、组件化 GIS 以及数字地球等成为新的研究热点^[1~7]。本文将探讨时态 GIS 的有关问题。

1 时态 GIS 研究概况

GIS 所描述的现实世界是随时间连续变化的。传统的无时间概念的 GIS 中的数据, 只能是现实世界在某个时刻的“快照”。当被描述的对象随时间变化比较缓慢且变化的历史过程无关紧要时, 可以用“数据更新”的方式来处理时间变化的影响。然而, 在某些应用中, 被描述的对象随时间变化很快 (例如云量变化、日照变化等) 或者历史数据也必须予以保存 (例如, 地籍变更、海岸线变化、环境变化等)。又比如, 地球科学家想对某一时刻的所有地质条件或某一时间段内的平均地质条件进行评价, 他们是否能够容易地获得在“A 时刻的值”或“从时间 B 到时间

C 这段时间内的值”。为充分满足地球科学家的需要, 这种时间数据获取能力应该与 3D 模型相结合。许多人认为地质特征是不变的, 但实际上大部分地质特征是动态的、变化的, 不是所有地质情况都是变化缓慢的, 水灾、地震、暴风雨以及滑坡都会使局部地质条件发生快速而巨大的变化。地质学家对 4D (立体 3D 加上时间第 4D) 的空间 - 时间模型尤感兴趣。在这些情况下, 时间就必须作为一个与空间同等重要的因素引入到 GIS 中来, 这样便产生了时态 GIS (TGIS - Temporal GIS) 或四维 GIS 的概念。

时态 GIS 或四维 GIS 就是要在 GIS 中考虑时间变化的概念, 是指在原有的三维 GIS 基础上加入时间变量而构成的 GIS^[8]。其关键问题是建立合适的时间与空间联合的数据模型 - 时空数据模型。Langran 作了 TGIS 方面最早的博士论文^[9], Langran (1989, 1993)^[9~10]、Worboys (1994)^[11]、Raper 等 (1995)^[12]、Donna (1995)^[13] 等分别提出和讨论了快照方式、复合方式和事件方式等来进行时态数据结构 and 数据库的设计并在时间和空间推理方面展开了研究, Raper 等 (1995)^[12] 还设计了时空数据库查询语言。1996 年 UCGIS (University Consortium for Geographic Information Science) 将 TGIS 作为“地理描述扩展”的一部分列入 GISci 十大优先研究领域之列^[14]。TGIS 在国内外吸引了越来越多的学者进行深入研究。

[收稿日期] 2002-01-30; [修订日期] 2002-07-03; [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 安徽省自然科学基金项目 (编号: 010452027) 资助。

[第一作者简介] 袁 峰 (1971 年 -), 男, 1998 年毕业于合肥工业大学, 获博士学位, 副教授, 现主要从事矿床地球化学和矿产资源预测的教学和研究工作。

当前主要的 TGIS 模型包括,空间 - 时间立方体模型(the space - time cube),序列快照模型(sequent snapshots),基图修正模型(base state with amendments),空间 - 时间组合体模型(space - time composite)。TGIS 的研究重点主要在,时空数据库模型(如何设计并建立一个有效的数据库结构来存储时空数据),时空分析和推理(即如何根据数据库中的大量的时间序列数据和空间数据进行包括时间推理和空间推理在内的数据分析),时空数据库管理系统(目前主要研究的是时空数据库查询语言,而真正数据库管理系统层次的研究很少),时空数据的可视化研究(探讨不同时间数据的显示、制图和符号化)等 4 个方面。其中有关时空数据库模型的研究比较深入,而对时态的可视化问题,研究较少,过去一般借助轨迹线等方法描述地理数据的时态特征,现在的研究是向借助动画技术表述地理数据时间维的方向发展^[15]。

2 时空数据库

时态 GIS 的关键是时空数据库模型,时空数据库是包括时间和空间要素在内的数据库系统,其建立依赖于时间的表示方法,目前的研究结果主要有全局状态标记(快照法)、元组时间标记法和同步数据项时间标记法等几种方法。时间的表达并不是时态 GIS 的目标,时态 GIS 强调的是利用时空分析的工具和技术来模拟动态过程^[16],探究和挖掘隐含于时空数据中的信息和规律,因此必须建立规范化的时空数据模型,而关于规范化时空数据模型的建立方法,目前还处在探索阶段。

2.1 时间数据库

时间数据库的研究已取得了众多的成果^[17~18],其重要性在于使数据库成为真正意义上的资源清单并且为动态监测和分析提供了丰富的数据。一般的数据库基本上不存储旧的、过时的数据,而时间数据库则包括任何历史数据,使数据库可以成为任何一个系统和部门的完整的电子信息档案库。它可以为分析提供横向的现势和纵向的历史数据,对历史、当前和将来进行对比、分析、监测和预测预报,从而为预测预报系统、决策支持系统和其他分析系统服务。时间数据库由于其动态性(过时的数据不再从数据库中删除,对历史数据也可以进行更新,使系统和现实世界一直保持着全方位的动态交换)和全面性(可以提供任何时刻和时间段的数据)使之成为真正意义上的数据库。

时间数据库有若干种分类,根据数据库处理时间的能力可分为,历史数据库、卷绕数据库和双时间数据库,其中历史数据库只能处理实际时间,卷绕数据库只能处理数据库时间,双时间数据库可同时处理这两种时间。根据数据库存放的内容可分为,历史数据库、实时数据库和预测数据库。根据数据库的结构可分为,线性数据库、分支数据库和周期数据库。根据对象可分为,基于状态的数据库和基于事件的数据库。

2.2 时空数据库

时空数据库是在空间数据库的基础上增加时间要素而构成的三维(无高度维)或四维数据库。时间维的加入大大丰富了数据库的内容,一方面增加了数据库管理的复杂性,另一方面,海量的数据为空间和时间分析提供了极其广阔的舞台。

时空数据库模型有两种,基于矢量的时空数据库模型和基于栅格的时空数据库模型,它们是在传统的矢量数据模型和栅格数据模型基础上派生的。这两种模型均可处理 6 种时间和空间的变化类型并对其建模,这 6 种变化是,属性变化(attribute changes),静态空间分布(static spatial distribution),静态时间变化(static temporal changes),动态的空间变化(dynamic spatial changes),过程的转换(mutation of a process),和实体的运动(movement of an entity)。

矢量型时空数据库模型建立在矢量数据模型的基础上。代表性的模型有 STC^[19]和 STO^[11]。STC - Space - Time Composite 模型认为在空间上和时间内相同的内容为一个 STC,所有属性的变化都用离散时间记录,它以对象在空间(及属性)的最大相同部分表示时间性,但不能表示物体的空间变化,如运动等。STO - Spatio - temporal Object 模型认为世界是由一个时空原子(Spatio - temporal Atom)组成,时空原子为时间、空间和属性相同的均质实体,该模型中时间维是与空间维(在此模型中为二维)垂直的,它可表示实体在空间和属性上的变化,但没有涉及对渐变实体(如连续的天气观测等)的表示。STC 模型在每一次变化时均须重新建立拓扑关系,当变化很多时,将使拓扑关系的建立十分复杂,最终的多边形和弧段太多。STO 模型则需建立当时的拓扑结构,弧段和多边形的变化则采用连接表的形式表示。

栅格型时空数据库模型建立在栅格数据模型的基础上。典型模型有基于事件的时空模型 Event - based Spatiotemporal Data Model (ESTDM)^[13]和

Oogeomorph^[12]等。ESTDM 对栅格数据加上时间标尺来表示,该模型用一个头文件来存储栅格数据的专题信息,指向基础栅格数据的指针以及指向起始时间和结束事件列表的指针,用一个事件系列表示某一区域的空间动态信息,每一个事件都有一个时间以及该事件的内容并且该事件对应一个指定的区域,Oogeomorph 则采用面向对象的思想建模。

3 时态 GIS 初探

时间的引入使 GIS 的信息量大大增加,并增加了数据库管理的复杂性,传统 GIS 已不能胜任,必须建设新的时态 GIS,而时态 GIS 的关键是时空数据库的建设及时空数据库的管理,而这些与时空数据模型有关,目前仍是研究的重点。本文在总结已有研究成果的基础上,拟在此初步归纳出时态 GIS 应具有的主要功能,尤其是在时间方面的主要功能,并提出在时态 GIS 尚不成熟条件下,基于传统 GIS 解决时间方面问题的某些思路,以供探讨。

时态 GIS 的主要功能模块应包括输入、存储、编辑和更新模块,时空数据库管理模块,查询和检索模块,时空分析模块,显示和输出模块等模块。其中时空数据库管理和时空分析模块是时态 GIS 所特有的功能,其余模块虽然在传统 GIS 系统中也是具备的,但是在时态 GIS 中也有其新的要求。

时空数据库管理模块应提供时空数据库的定义、时空数据库的基本操作(包括复制、删除等一般数据库操作)及数据交换(包括与其他数据库、传统 GIS 数据库及其他时空数据库的数据交换)功能。其中时空数据库的定义与时空数据模型有关,一个合理的时空数据模型必须考虑节省存储空间,加快存取、查询、分析的响应速度以及表现时空语义几个方面的因素,目前尚处于研究阶段。因此在目前条件下,要解决时态问题,可以在传统 GIS 中引入时间概念,建立层次模型的数据结构(即时空数据结构),基于层次模型的数据结构进行数据的存取、访问、查询和分析。

空间分析是传统 GIS 的核心,而时空分析是时态 GIS 的核心。时空分析模块应包括时空数据的分类、时间量测、基于时间的平滑和综合、变化的统计分析、时空叠加、时间序列分析以及预测分析等^[6]。时空数据的分类指对时空数据根据不同的分类体系进行重组,派生新的数据。时间量测指计算并显示历史数据的时间。基于时间的空间数据的平滑和综合中平滑是根据对象在不同的时间的不同

状态推测对象的中间状态,综合是根据一定的时间综合原则对空间数据进行合并。变化的统计分析指根据时空数据对变化的速度、频率、范围等进行多种统计分析。时空叠加分析是将不同时间的空间对象叠加在一起,主要包括,事件与事件的叠加、状态与状态的叠加、事件和状态的叠加。时间序列分析指对一个对象根据时间序列进行空间上的排列,这种分析主要针对同一个对象不能同时在不同的位置的现象。预测分析是一种基于多种数据运用数学模型根据某种目的进行推理的一种综合分析,如矿产资源的预测等。

输入、存储、编辑和更新模块是传统 GIS 系统中也具备的模块,但是在时态 GIS 中,该模块除能对常规 GIS 数据进行输入、存储、编辑和更新外,还应能处理时态数据,包括历史数据和预测数据。在层次模型的数据结构基础上,一种直观的数据存储方案是将不同时期的数据分别作为一个数据层来进行存储,目前已有部分传统 GIS 采用了这种方法。当数据层次较少时,该方法不失为一种有效的选择,但是如果数据层次较多,比如数据需要每天更新,则这种方法就不现实了。此时可以考虑采用时间标记法建立时空数据结构,记录地理要素的创立时间和消失时间,时空数据的更新则包括旧数据的保存和新数据的加入,旧数据的保存可以通过给数据记录添加消失时间来实现,而新数据的加入则可以通过在数据文件中添加新的数据记录并记录创立时间来实现。

查询和检索模块应具备属性查询、空间查询、时间查询以及联合查询功能。其中属性查询、空间查询以及联合查询在传统 GIS 中已相当成熟,时态 GIS 中需增加的是时间查询及与其它查询的联合查询,这需要增加时间查询操作符,应包括时间连接操作、时间拓扑关系操作、时间距离操作、时空拓扑关系操作等查询操作符。如上所述,可以在传统 GIS 基础上,基于层次模型的数据结构进行与时间有关的查询和检索。

显示和输出模块应能实现动画显示、不同符号和颜色显示、立体显示以及输出。有效地显示并输出时空数据是时态 GIS 应用成果的具体表现形式,如矿产预测应用领域的结果输出等。

4 结语

地理信息系统是当代科学发展的前沿领域之一,它已经或正在深刻地影响人类生产与生活的各

个方面,其研究与应用是极其庞大而复杂的系统工程。而时态 GIS 是 GIS 一个新兴的研究领域,是实现数字地球的关键技术之一。相对于传统 GIS,时态 GIS 具有语义更丰富、对现实世界的描述更准确等优点,其技术的本质特点是“时空效率”,而实现的最大困难在于海量数据的组织和存取。时态 GIS 的研究目前仍处于理论与模型的研究阶段,还没有实际意义上的成熟的应用系统,具有广阔的研究与发展空间,同时其研究成果也具有广泛的应用前景。

[参考文献]

[1] 陈述彭,鲁学军,周成虎.地理信息系统导论[M].北京:科学出版社,2000.

[2] 吴信才.地理信息系统的基本技术与发展动态[J].地球科学,1998(4):329~333.

[3] 李云芝,秦大国.当前 GIS 发展趋势的几个关键问题[J].系统工程与电子技术,1999(12):96~97.

[4] 郭秋英.当前 GIS 发展的几个特点[J].测绘通报,1998(5):15~18.

[5] 沈琳琳,陈洪亮.地理信息系统发展前沿展望[J].微型电脑应用,1999(6):5~7.

[6] 唐新明,吴 岚.时空数据库模型和时间地理信息系统框架[J].遥感信息,1999(1):11~15.

[7] 姚 锐,庄大方,戴塔根,等.浅谈 GIS 在地质制图中的应用[J].地质与勘探,2001(6):55~57.

[8] A Keith Turner. The difference among 2D,2.5D,3D and 4D[J]. GIS world,1997(3):134~142.

[9] Langran G. Time in Geographic Information System[D]. University of Washington. 1989.

[10] Langran G. Issues of implementing a spatiotemporal system[J]. International Journal of Geographical Information Systems,1993,7(4):305~314.

[11] Worboys M F. A unified model for spatial and temporal information[J]. The Computer Journal,1994,37(1):26~34.

[12] Raper J ,Livingstone D. Development of a geomorphological spatial model using object - oriented design[J]. International Journal of Geographic Information Systems,1995,9(4):359~384.

[13] Donna J P ,Niu Duan. An event - based spatiotemporal data model(ESTDM) for temporal analysis of geographical data[J]. International Journal of Geographic Information Systems,1995,9(1):7~24.

[14] University Consortium for Geographic Information Science (UCGISci). Research priorities for Geographic Information Science[J]. Cartography and Geographic Information Systems,1996,23(3):115~127.

[15] Koussoulakou A , Kraak M J. Spatio - temporal maps and cartographic communication [J]. The Cartographic Journal,1992,28(12):101~108.

[16] 郭仁忠.空间分析[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1997.

[17] Clifford J A. Model for historical databases[A]. In Proceedings of Workshop on Logical Bases for Databases, Toulouse, France, 1982.

[18] Gadia S K. A homogeneous relational model and query languages for temporal databases[J]. ACM Transactions on Database Systems,1988,13(4):418~448.

[19] Langran G ,Chrisman N R. A framework for temporal Geographic Information[J]. Cartographica,1988,25(3):11~14.

ABECEDARIAN DISCUSSION OF TEMPORAL GIS

YUAN Feng,ZHOU Tao - fa ,YUE Shu - cang

(College of Resources and Environmental Engineering , Hefei University of Technology , Hefei 230009)

Abstract :Temporal GIS is a new research field of GIS ,and still in the stages of theory and model study. In this paper ,Authors sum up the actuality of Temporal GIS ,and introduce the conception and the type of Time Database and Space - Time Database. Then authors induce the main functions of Temporal GIS on the base of known studies. The functions must include input ,storage ,edit and update module ,space - time Database management module ,query and search module ,space - time analysis module ,and display & output module. Lastly authors put forward some methods to deal with time problems based on traditional GIS.

Key words :temporal GIS ,space - time Database ,model