

文章编号:1006-7639(2004)-03-0077-06

时态地理信息系统研究进展和问题

韩涛¹, 张永忠²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省基础地理信息中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 简要回顾了国内外时态 GIS(Temporal GIS) 发展历史, 从地理时空认知、时空拓扑关系、时空系统理论、时空数据模型以及动态过程模拟等几方面总结了国内外时态 GIS 研究现状, 展望了时态 GIS 进一步研究必须解决的几个问题。

关键词: 时态 GIS; 地理时空认知; 时空拓扑关系; 时空系统理论; 时空数据模型

中图分类号: P407

文献标识码: A

引言

上世纪 50 年代后期, Tobler 将地图按行列点阵方式存储在计算机中, 进行显示和打印, 完成第一张栅格形式的“计算机地图”^[1], 伴随着相关学科和技术的发展, GIS 得到了迅猛的发展, 应用范围越来越广泛。但目前的 GIS 理论和技术对动态性过程和对象的描述, 还不能令人满意, 时态 GIS 研究还停留在原型描述阶段。不过状况已有所改善, 国内外许多学者已认识到这一领域研究的重要性, 从事这一领域的研究工作并力争突破 GIS 在动态性问题存储和表述上的瓶颈。

时态 GIS, 简单地说, 是能表达地理现象时间行为的 GIS 系统。当 GIS 有能力去管理和表达地理对象的空间和时间信息时, 我们就可以通过 GIS 去逼真地存储、再现、分析动态的现实世界。时间数据在计算机中的存储和管理, 源于上世纪 80 年代, 由于银行、医疗等领域对历史信息的需求和当时计算机数据库技术的发展和应用的不断深入, 这一阶段数据库研究者提供了许多基于时间的数据库解决方案, 具有时间管理能力的数据库产品开始面市^[2]。进一步的研究, 在基于时间的推理以及查询检索上取得了许多有价值的成果, 如对数据库查询检索标准语言 SQL 的扩展: TSQL2 和 SQL3(SQL/Temporal) 等^[3]。上世纪 80 年代末 90 年代初, GIS 领域的

许多专家学者开始关注时间问题在 GIS 中的存储和操作, 陆续完成了许多基于时空数据的 GIS 原型系统和地理数据库建设。这一时期的方法是对 2 维 GIS 简单的扩展, 用属性处理时间, Langran 在其博士论文中将这些方法进行了总结, 分为 3 类: 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 Composites)^[4]。随着软件技术的发展, 面向对象的方法也用在时空表达上。本文将从几个方面回顾时态 GIS 研究的主要进展。

1 Temporal GIS 研究的主要内容和进展

从现实世界到人的概念世界, 再到数字世界, 最后通过用户改造的活动反馈到现实世界, 这中间的 3 个阶段对应着地理信息科学的 3 个研究领域, 即地理认知模型的研究, 地理概念计算方法的研究, 以及地理信息科学与社会的关系研究^[5]。本节从地理时空认知、时空拓扑, 时空数据模型, 时空过程模拟等方面来阐述时态 GIS 研究的主要内容和进展。

1.1 地理时空认知

动态的地理环境过程是复杂多样的, 如果象考虑空间一样, 考虑时间为可度量的维数, 目前是不适宜的, 因为它并没有和空间一样的本质和单位, 但可以将时间和对象的变化结合起来研究, 虽然看不见

收稿日期: 2004-07-29; 改回日期: 2004-09-10

基金项目: 本文由“甘肃省人工增雨防雷效果检验与评估研究”(2002 人影-2) 项目资助。

作者简介: 韩涛(1972-), 男, 吉林省吉林市人, 工程师, 主要从事遥感和地理信息系统应用研究。

或感觉不到时间,但可以知道它的效果,因此,较好地理解时间的方式是空间对象相伴随的变化,这些变化包含变形和相对位置的移动。

Hornsby 等提出变化中对象的时空语义描述方法,将所定义的语言命名为变化描述语言(Change Description Language, CDL),所描述的对象有 3 种状态:现在存在;现在不存在,并且历史上也不存在;现在不存在,但历史上存在。根据这 3 种状态,定义

了 9 种基于变化的操作,分别是:创建;唤醒;破坏;没有历史,持续存在;持续存在;删除;遗忘;再生;历史存在,现在不存在^[6]。这是基于变化研究时空过程时,普遍适用的语义表述。

Worboys 总结了 GIS 以及数据库界学者在时间表述方面的研究成果,分为 3 方面的内容,用图示方式记录如下^[7]:

传统 GIS 主要侧重表达地理实体的空间(几何)

变化的时间记录方式	对象在生命周期内变化方式	变化发生时段
Discrete ➡➡➡	Linear ➡	Time instant ●
Continuous ➡	Possible futures ➡➡➡	Time interval ➡
	Possible pasts ➡➡➡	Time period ➡➡
	Cyclic ➡➡➡	

图 1 时间结构图

Fig.1 Temporal Structure

成份,其语义关系和内部关系往往被忽视,这一缺陷大大影响了 GIS 的空间分析能力。忽视语义关系会使我们在已有的认知水平上对原本为有机整体的地理世界进行僵硬的分割,从而导致基于这种认知的 GIS 在复杂的深层次空间分析上显得被动^[8~9]。因此人们逐渐认识到:GIS 中时态问题的解决不仅要在数学上寻求方法的支持,更应该在现实世界的时空现象中去探求其内在的变化规律。由于在实际中,事件及其发生是驱动时空数据发生变化的根本原因。近年来陆续提出了一些基于事件及事件语义的时态 GIS 模型。如徐志红等^[10]提出了适用于历史查询、历史回溯的基于事件语义的时空 GIS 模型。该模型中,针对时态 GIS 中涉及的各要素划分为 5 个域,即属性域、时间域、空间域、动作域及关系域,各域通过对象标识进行关联;GIS 各对象在不断的历史变化中保持唯一的标识符,以便于空间信息在不同历史时段的提取。林广发等^[11]也设计了一种以事件为核心的面向对象时空数据模型。

1.2 时空拓扑关系

时空拓扑关系一般指地理实体空间拓扑关系的拓扑事件间的时态关系。时空拓扑关系揭示了地理

实体在时间和空间上的相关性,为了有效地表达时空拓扑关系,需要存储空间拓扑关系的时变序列^[5]。

Egenhofer 等考察了 2 维空间中对象渐变的一些情况^[12]。他们通过对象之间 8 种可能的空间拓扑关系(图 2),绘制了移动物体拓扑关系变化图(图 3),这个图可以解释运动对象之间拓扑关系变化情况。例如,当 2 个对象由最初的相离状态相向运动时,将可能经历相离、相接、重叠、相等、重叠、相接最后又相离等时空位置关系。首先,这一模型揭示 2

disjoint	meet	overlap	equal
covers	Coveredby	inside	contains

图 2 对象之间拓扑关系图

Fig.2 Topological relationship between objects

个对象在不同时间可能拥有不同的空间关系,就此可以推断发生的变化;其次,当对象位置变化时,我们可以预测具体变化时间。

为在 TGIS 中更有效地存储已知或可能的时态拓扑关系,近年来图论开始被研究用于时空拓扑关系的显式表达。图论是用来研究一组具体事物之间相互关系的抽象代数,可用来显式表达时空实体与时态关系。尹章才等^[13]探讨并发展了一种基于图论的时空数据模型:用图的顶点表示时空实体,用图的边表示实体的时态关系。该模型能显式地表达存储时空实体与时空拓扑关系,避免了已有的图方法用快照序列进行数据的存储与表达;该模型数据结构简单、统一,便于对时空数据的有效查询与管理,减少了数据库的访问次数,提高了数据获取效率,历史数据与现实数据易于分离。此外俞艳等^[14]在基于地理对象的修正时空数据模型的基础上提出了一种基于时空拓扑分析的地籍时态查询方案用以对地籍时态信息的管理。

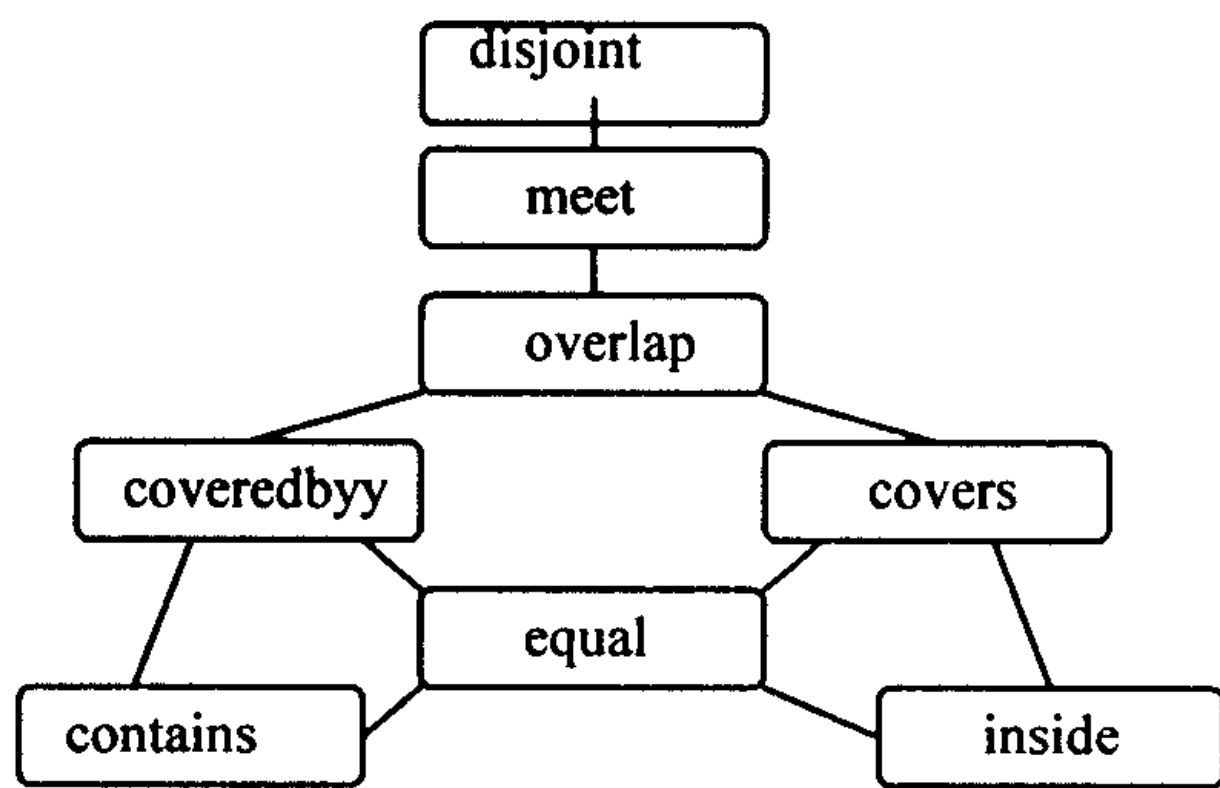


图 3 移动物体拓扑关系变化图(经修改)

Fig. 3 The revised Closest - Topological - Relationship - Graph

1.3 时空表达的理论研究

为了能够利用信息系统工具来描述现实世界,并解决其中的问题,必须对现实世界进行建模。对于 GIS 而言,其结果就是空间数据模型,空间数据模型被称为是整个 GIS 理论中最为核心的内容。空间数据模型可分为 3 种:场模型、对象模型(或称要素模型)和网络模型^[5]。Worboys 在空间场模型和对象模型的基础上,将其扩展为时空场模型和时空对象模型(图 4,图 5)^[7]。Peuquet 提出了离散的观点和连续的观点,即时空场模型和时空对象模型,作为时空数据模型的理论框架基础^[3]。

1.4 时空数据库

时空数据库的核心问题是研究如何有效地表达、记录和管理现实世界实体及其相互关系随时间

不断发生的变化。当前研究的主要问题有:表达时空变化的数据模型、时空数据组织与存取方法、时空数据库的版本问题、时空数据库的质量控制、时空数据的可视化问题等^[5]。

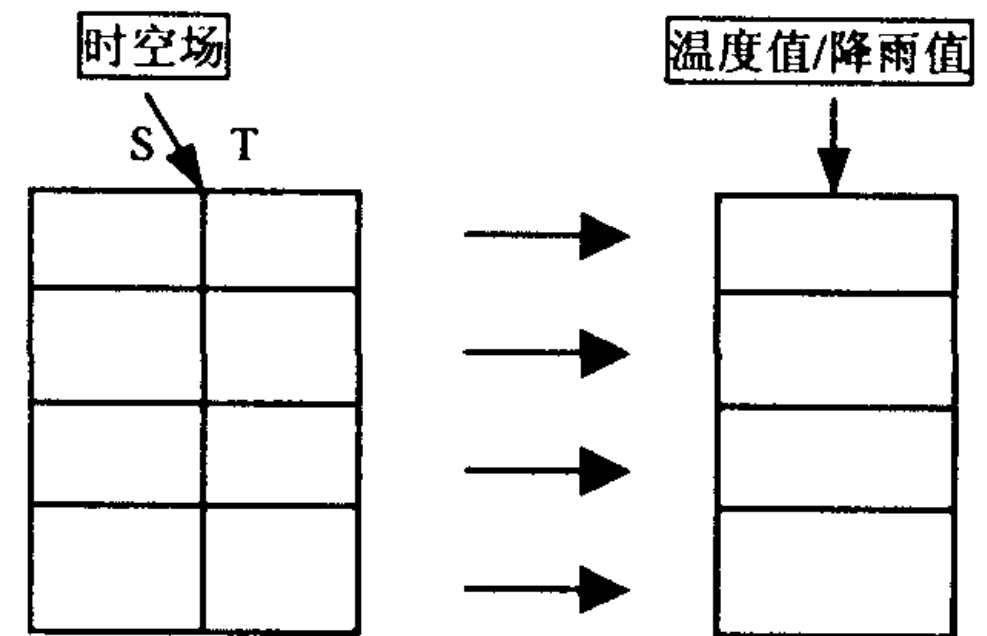


图 4 地理现象的时空场模型(经修改)

Fig. 4 ST - field model of geographic phenomena

有时间属性的时空对象:

	S	T	...
id

图 5 地理现象的时空对象模型(经修改)

Fig. 5 ST - object model of geographic phenomena

Peuquet 提出了 TRIAD 模型,认为所有的地理现象均可用属性、空间、时间 3 者结合来描述,即“what - when - where”三角形模型^[15]。这是一个概念化的时空模型,这一模型有利于时空过程的数据结构设计和应用的定义,通过它能较好地揭示对象时空行为和联系。Worboys 提出了空间-时间(Transaction Time,事件的数据库记录时间和 Valid Time,事件实际发生时间)概念模型,这一模型通过在关系数据库框架下表达离散时间变化,从概念层次上扩展了含拓扑属性的矢量地图,使其既有空间表述能力又具有时间表达、运算能力^[7,16]。Yuan 的研究^[17]认为,对环境的概念化表达方法,在模拟地理过程时非常重要,如果在 GIS 中,不能很好地概念化表达动态环境,许多时空查询和表达是不能完成的,为此,提出了 3 域模型,通过建立语义、时间、空间 3 域之间的联系去描述地理过程和地理现象。这一模型通过链接存储在语义、时间和空间域中的数据,将快照模型、时空组合体模型和面向对象方法进行了融合,通过在空间图形中存储相关语义和时间变化,完成基于事件和基于位置的查询。Peuquet 等提供了基于事件的时空数据模型(EST-DM)^[18]。这一方法,开始于一个初始的状态(基

图),将变化部分看作事件,每一个事件记录了两个相邻状态之间的变化,用链的方式将系列变化相连,这样,避免了数据冗余,同时,恢复当前地图时,也不需要遍历所有版本。状态变化记录时间的选择和具体变化相关,不依赖于时钟。这一模型适合于栅格数据格式。Tryfona等提出 STER 概念模型^[19],是实体—关系模型(ER模型)在时空应用领域上的扩展,这一模型很好地描述实体之间在时空方面的关系以及实体本身的时空属性,既适应于对象离散变化的描述又可用于连续变化的描述。陈军等、黄明智等通过非第一范式(N1NF)方法,探讨了时空数据的表达和操作,将空间、时间和属性结合为一个整体,构成了矢量式的时空数据模型^[27~28]。

总之,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。一般而言,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,但难与当前的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。

1.5 时态GIS实现方法

目前时态GIS的实现主要有2种途径,一是扩展传统的关系模型,二是采用面向对象的方法^[20]。由于传统关系模型语义丰富、理论完善且具有许多高效灵活的实现机制,使人们尝试在传统关系模型中加入时间维,扩充关系模型,用关系代数及查询语言来处理时态数据,从而直接或间接地实现基于关系模型支持的时空数据的存储、表示和处理。但是传统关系模型的数据类型比较简单,缺少表达能力,GIS中的许多实体和结构很难映射到关系模型中。因此,近年来许多研究工作已开始探索如何以更自然的方式表示复杂的地理信息,其中面向对象(OO)方法已成为一个研究重点。

目前存在的处理时空行为面向对象方法的关键问题在于如何构建对象类和属性,去处理对象的时空变化。Ramachandran等在对象中嵌入了过去、现在和未来等状态,构成了变化的组件。对象的过去和未来状态,由基于时间的序链连接,每一个对象都

有它的生命周期和相应的空间信息和属性信息。对象的当前状态,被表达为单独的状态对象,基于此,完成了创建、变化、显示等时空操作^[21]。Bonfatti等用对象复合构成的复杂对象,去描述地理现象和过程的结构和关系^[22]。这一方法中,规律被用来描述复杂对象的行为,用来表达其系列状态,通过这种方法,确定了对象所有可能状态。龚健雅在面向对象的时空数据模型研究中,将版本信息标记在属性上,直接表达同一个对象不同时期的多个版本^[23]。

Hermosilla结合计算机人工智能和知识库技术,使系统具有预测、决策支持、数据过滤以及组织复杂对象的能力^[24]。是一个将知识库、数据库和GIS耦合的时空问题解决方案。张山山根据对时空表达的要求以及时空基本概念,以UML为面向对象的主要建模工具,对面向对象模型进行扩展,以使新的模型能表达丰富的时空语义,开发出了一种时空扩展对象模型^[25]。曹志月等也提出了一个基于OO设计思想的时空数据模型,该模型的核心是以面向对象的基本思想组织地理时空;其中对象是独立封装的具有唯一标识的概念实体;每个地理时空对象中封装了对象的时态性、空间特性、属性特性和相关的行为操作及与其它对象的关系;时间、空间及属性在每个时空对象中具有同等重要的地位,不同的应用中可根据具体重点关心的方面,分别采用基于时间(基于事件)、基于对象(基于矢量)或基于位置(基于栅格)的系统构建方式^[26]。

1.6 时空过程模拟

历史信息对评估执行情况、分析发展趋势等工作是重要的和不可或缺的信息。Tucker等应用历史水质数据,开发的GRASS系统中,可进行特定的空间和时间水质状况分析,例如给定时空条件,分析氯化物在湖边地下水里积聚情况,当时间回溯到1931年,系统可以迅速完成基于时间的水质查询^[29]。Halls等开发了一个城市增长分析系统,来预测城市未来的增长模式。系统中使用了具有历史信息的土地利用类型图,将一系列的含有历史的信息集成到系统中,完成时空分析,同时提供了预测功能^[30]。Spery等开发了能存储和管理历史地籍变更信息的地籍管理系统,系统利用了有向图以及面向对象的方法,建立了能记录地籍变更状态的元数据模型,有效地解决了历史地籍信息的存储和管理问题^[31]。

2 时态GIS进一步发展的展望

目前,从事这一领域的研究者认为,要找到一种即简单、可靠、高效,又要具有普适性,独立于具体应用的时态 GIS 解决方案,需重新定位和思考 GIS 和 DBMS 中,数据的概念模型、计算模型以及相应的查询语言。由于理论和技术等原因,从应用领域抽象的概念模型到计算模型的匹配问题,被认为是必须克服,也是最困难的问题^[32]。

复杂对象以及不精确性问题的认识和处理也是未来研究的关键。地理实体之间存在非常复杂的相互关系,另外,单个实体定义依赖于具体情况,在动态的过程中,很难精确地定义一个实体^[3]。

由于时空数据的最大特点莫过于数据量大和结构复杂,空间数据和无限变化的历史累积数据属海量数据,且空间数据的明显层次结构、有序、不定长、复杂关系、时态数据的时间序列等特点要求数据库系统提供复杂结构或语义数据建模机制。而面向对象数据模型提供了丰富的数据建模机制:对象(封装、对象标识)、类型与类、概括(继承)、多态、聚集、传播等,它在复杂结构数据建模、数据和操作复用方面比关系、扩展关系、层次数据、网络模型等有更大的优点,因此使用面向对象的技术进行时空数据建模,并发展时空对象模型成为一条充满希望的路。

我们认为,要建立一个通用的、功能全面的时态 GIS 系统,需要多学科结合,从物理学、认知心理学,到计算机科学的最新成果,包括神经网络,人工智能,模式识别,图像识别等,将这些领域的成果应用到时空数据存储和表达上,建立语义驱动的表达和查询,去全面地解决 GIS 中的时间问题。

参考文献:

- [1] Tobler W. Automation and Cartography[J]. *Geographic Review*, 1959, 49: 526 - 534.
- [2] Roddick J F, Patrick J D. Temporal semantics in information systems - A survey[J]. *Information Systems*, 1992, 17: 249 - 267.
- [3] Peuquet D J. Making Space for Time: Issues in Space - Time Data Representation[J]. *Geoinformatic*. 2001, 5(1): 11 - 32.
- [4] Langran G. Time in Geographic Information Systems[D]. London: Taylor & Francis, 1992.
- [5] 邹伦,刘瑜,张晶,等. 地理信息系统 - 原理、方法和应用[M]. 北京:科学出版社,2001. 69 - 71.
- [6] Hornsby K, Egenhofer M J. Identity - based Change: A Foundation for Spatio - Temporal Knowledge Representation[J]. *Int Journal of Geographical Information Science*, 2000, 14: 207 - 224.
- [7] Worboys M F. GIS: A Computing Perspective[M]. London: Taylor & Francis Inc, 1995. 55 - 68.
- [8] Tang A Y, Adams T, Usery E L. A Spatial Data Model Design for Feature - based Geographical Information Systems[J]. *Int J Geographical Information Systems*, 1996, 10(5): 643 - 659.
- [9] 肖乐斌,钟耳顺,刘纪远,等. GIS 概念数据模型的研究[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2001, 26(5): 387 - 392.
- [10] 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.
- [11] 林广发,冯学智,王雷,等. 以事件为核心的面向对象时空数据模型[J]. *测绘学报*, 2002, 31(1): 71 - 76.
- [12] Egenhofer M J, Al - taha K K. Reasoning about Gradual Changes of Topological Relationships[A]. *Theories and Methods of Spatio - Temporal Reasoning in Geographic Space*[M]. New York: Springer Verlag, 1992. 232 - 250.
- [13] 尹章才,李霖,艾自兴. 基于图论的时空数据模型研究[J]. *测绘学报*, 2003, 32(2): 168 - 172.
- [14] 俞艳,何建华. 基于时空拓扑分析的地籍时态查询[J]. *武汉理工大学学报·信息与管理工程版*, 2003, 25(6): 43 - 46.
- [15] Peuquet D J. It's about Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1994, 84: 441 - 461.
- [16] Worboys M F. A Unified Model for Spatial and Temporal Information[J]. *The Computer Journal*, 1994, 37: 26 - 34.
- [17] Yuan M. Incorporating Human Conceptualizations into GIS Representation to Support Spatiotemporal Queries[J]. *Personal Communication*, 1996, 164 - 175.
- [18] Peuquet D J, Duan N. An Event - based Spatio - Temporal Data Model for Temporal Analysis of Geographical Data[J]. *Int Journal of Geographical Systems*, 1995, 9: 7 - 24.
- [19] Tryfona N. Conceptual Data Modeling for Spatiotemporal Application[J]. *Geoinformatic*, 1999, 3(3): 245 - 268.
- [20] 吴信才. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京:电子工业出版社, 2002. 228 - 229.
- [21] Ramachandran B, Macleod F, Dowers S. Modeling Temporal Changes in a GIS Using an Object - Oriented Approach. Proc. of the 6th Int. Symp. on Spatial Data Handling. London: Taylor & Francis, 1994, 56 - 62.
- [22] Bonfatti F, Monari P D. Spatio - Temporal Modeling of Complex Geographical Structures. Proceedings of the IFIP TC5/WG5. 11, CSEIA 93. Como, Italy: Elsevier, 1994, 310 - 319.
- [23] 龚健雅. GIS 中面向对象时空数据模型[J]. *测绘学报*, 1997, 26(4): 289 - 298.
- [24] Hermosilla L H. A Unified Approach for Developing a Temporal GIS with Database and Reasoning Capabilities. The 5th European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Proc. of EGIS 94, Paris, France, 1994. 44 - 57.
- [25] 张山山. 面向对象的时空概念建模方法[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2003, 28(2): 191 - 196.
- [26] 曹志月,刘岳. 一种面向对象的时空数据模型[J]. *测绘学报*, 2002, 31(1): 87 - 92.
- [27] 陈军,陈尚超. 用非第一范式关系表达 GIS 时态属性数据

- [J]. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 20(1): 12 - 17.
- [28] 黄明智, 张祖勋. 时空数据模型的 NINF 关系基础[J]. 测绘学报, 1997, 26(1): 1 - 6.
- [29] Tucker D F, Whitman R L, Devine H A. Spatial and Temporal Dimensions of Water Quality at Indiana Dunes National Reserve. Proc. of GIS/LIS 90. Anaheim, California. 1990, 69 - 77.
- [30] Halls J N, Cowen D J, Jensen J R. Predictive Spatio - Temporal Modeling in GIS[A]. Advances in GIS Research[C]. Proc. of the 6th Int. Symp. on Spatial Data Handling. London: Taylor & Francis, 1994. 144 - 156.
- [31] Sperry L. A Spatio - Temporal Model for the Manipulation of Lineage Metadata[J]. Geoinformatic, 2001, 5(1): 51 - 70.
- [32] Parent C, Spaccapietra S, Zimanyi E. Spatio - Temporal Conceptual Models: Data Structures + Space + Time. Proceedings of ACM - GIS'99: the 7th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems. Kansas City, 1999, 293 - 304.

Research Progress and Issues on Temporal Geographic Information System

HAN Tao¹, ZHANG Yong - zhong²

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster, Lanzhou 730020, China;
2. Geometric Centre of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Temporality is an inherent aspect of geo - information, but until recently it has been relatively neglected by GIS research, and the emphasis being on the spatial dimensions. In this paper we reviewed the research on Temporal GIS through Geographic spatial - temporal cognition, spatial - temporal topological relationship, theory on spatial - temporal GIS, spatial - temporal data model, and dynamic processes modeling, etc. Finally, we prospected the issues in advanced research about Temporal GIS.

Key words: temporal GIS; spatial - temporal cognition; spatial - temporal topological relationship; theory on spatial - temporal GIS; spatial - temporal data model