时空数据模型研究进展及其发展方向

吴正升[1]，胡 艳[2]，何志新[1]

（1. 信息工程大学 测绘学院，河南 郑州 450052；2. 河南工业大学，河南 郑州 450052）

摘 要：时态GIS作为GIS理论和技术研究前沿领域的一个难点问题，越来越被重视，其时空数据模型的设计和实现一直是研究重点。在分析Gail Langran的4种典型时空数据模型基础上，重点讨论了时空数据模型的一些最新研究成果。针对现有研究存在的诸多问题，建议时空数据模型研究应主要从语义、通用以及实用3个角度出发。

关键词：时态GIS；时空数据库；时空数据模型

中图分类号：P208　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672－5867(2009)06－0015－03

The Progress and Direction of Spatio－temporal Data Model

WU Zheng－sheng[1], HU Yan[2], HE Zhi－xin[1]

(1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China;
2. Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: As a difficult problem in theory and technique of GIS, temporal GIS gets more and more attention, and the study emphasizes on the design and implementation of spatio－temporal data model. Based on analyzing Gail Langran's spatio－temporal data models, this paper mainly discusses the new progress of spatio－temporal data model. Finally, aiming at some existed issues of spatio－temporal data model, the corresponding suggestion has been put forward from semantic viewpoint, general viewpoint and practical viewpoint.

Key words: temporal GIS; spatio－temporal database; spatio－temporal data model

0 引 言

空间、属性、时间是地理现象的3个基本特征或GIS数据库的3种基本数据成分。空间特征着重描述地理实体在地球表面及附近的空间分布，属性特征着重描述地理实体的质量和数量信息，而时间特征则着重描述地理实体时间尺度和时态关系[1]。然而，目前国内外大多数的GIS在本质上均属静态GIS，难以有效地描述和表达空间实体及其相互关系的时空变化。为了解决这一问题，许多学者开始研究和发展能够用于描述和表达时空变化的GIS，即时态GIS（Temporal GIS，TGIS）。TGIS作为当前GIS研究的一个难点，不仅是GIS理论发展的需要，也是GIS实际应用提出的需求，同时，相关技术的发展也为其研究提供了有利条件。

TGIS的组织核心是时空数据库，其概念基础则是时空数据模型[2]。在TGIS所有问题研究中，最基本、最迫切的就是时空数据模型的研究。时空数据模型的优劣，不仅决定了TGIS系统操作的灵活性及功效，而且影响和制约着TGIS其他方面的研究和发展[3]。但是，由于TGIS理论研究和应用开发的特殊性、复杂性，时空数据模型的研究进展还不是很快，至今仍没有取得突破性进展。其原因是空间、属性、时态三者之间的关系和结构组织非常复杂，加之在应用中，不同TGIS功能，要求选择不同的数据组织和时空数据模型，这和通常的空间数据库组织和处理方法有很大的差别。

1 Gail Langran时空数据模型分析

1992年，Gail Langran学位论文《地理信息系统中的时间》的发表标志着TGIS正式成为地理信息科学的一个研究方向。至今，几乎每一个从事TGIS研究的学者均不同程度地参考了Gail Langran时空数据模型的思想，Gail Langran时空数据模型对TGIS建设的影响最为旷久[4]。Gail Langran的4种时空数据模型分别是：时空立方体模型、序列快照模型、基态修正模型和时空复合模型[5]。

1.1 时空立方体模型

Hagerstrand最早于1970年提出了时空立方体模型。

收稿日期：2009－05－30

基金项目：河南省重大重点科技攻关项目(0423034200)资助

作者简介：吴正升(1978－)，男，四川广元人，讲师，地图制图学与地理信息工程专业在读博士研究生，主要从事时空数据库和地理信息系统的研究工作。

这个3维立方体由两个空间维和一个时间维组成,可用于描述2维空间沿时间维演变的过程。任何一个空间实体的演变历史都是空间时间立方体中的一个实体。该模型形象直观地运用了时间维的几何特性,也表现了空间实体是一个时空体的概念,虽其对地理变化的描述简单明了,易于接受,但是具体实现较为困难[6]。随着数据量的增大,对立方体的操作会变得越来越复杂,以致于最终变得无法处理。

1.2 序列快照模型

此模型在快照数据库(Snapshot Database)中仅记录当前数据状态,数据更新后,旧数据的变化值不再保留,即"忘记"了过去的状态。连续快照模型是将一系列时间片段快照保存起来,反映整个空间特征的状态,根据需要对指定时间片段的现实片段进行播放。由于快照将未发生变化的所有特征重复进行存储,会产生大量的数据冗余,当应用模型变化频繁且数据量较大时,系统效率急剧下降[7]。此外,连续快照模型不表达单一的时空对象,较难处理时空对象间的时态关系。因此,序列快照模型只是一种概念上的模型,不具备实用的开发价值。

1.3 基态修正模型

为了避免连续快照模型将每张未发生变化部分的快照特征重复进行记录,基态修正模型按事先设定的时间间隔采样,只储存某个时间的数据状态(称基态)和相对于基态的变化量。基态修正的每个对象只需储存一次,每变化一次,只有很小的数据量需记录;同时,只有在事件或对象发生变化时才存入系统中,时态分辨率刻度值与事件发生的时刻完全对应。但基态修正模型较难处理给定时刻的时空对象间的空间关系。当整个地理区域作为处理对象时,该模型处理方法难度较大,效率较低,管理索引变化很困难[7]。要获取"非起始"状态的数据,则需顺序进行数据叠加操作,整合出一套完整的空间数据,对于矢量模型而言,效率较低,而对栅格数据比较合适。

1.4 时空复合模型

时空复合模型最初由 Chrisman 于 1983 年提出,Gail Langran 和 Chrisman 于 1988 年对它进行了详细描述。它用带修正的基态作为建立累积几何变化的时空复合。每次变化均导致变化的部分脱离其父亲对象,成为具有不同历史的离散对象。换句话说,随着时间的发展,表达分解成越来越小的碎片,即该地区最大的公共时空单元,每个公共时空单元与不同的属性历史相联[8]。空间—时间复合体模型虽然保留了沿时间的空间拓扑关系,但由于其空间对象较为破碎,标注的修改较为复杂,涉及的关系链层次很多,必须对标注逐一进行回退修改[6]。

2 时空数据模型最新扩展

除了 Gail Langran 的4种时空数据模型外,国内外的学者纷纷在此基础上提出各自的时空数据模型,以实现时空数据的一体化存储。其中,研究较多的有以下模型:基态修正模型的扩展、基于事件的时空数据模型及其扩展、面向对象的时空数据模型以及基于图论的时空数据模型等。

2.1 基态修正模型的扩展

在 Gail Langran 的4种时空数据模型中,从"时空信息表达能力"和"实现的可能性"来看,基态修正模型是一种较好的模型[6]。许多学者对其进行了深入研究,从各个角度进行扩展和完善。张祖勋等人提出了建立多级差文件的方法减少历史数据恢复时检索差文件的个数[2]。曹志月等人认为当历史久远时建立多级差文件方法仍不理想,提出了多基态修正法,以提高检索的速度[3]。即在整个历史状况中动态地设立多个基态,基态间的差文件数,称为基态距。基态距阈值由用户或系统根据具体应用确定,系统中随着对象历史状况的插入、修正,以及对历史时期的检索频繁程度而动态地创立基态。张保钢认为曹志月的方法虽然降低了检索的时间开销,然而增加了基态的占用空间,当历史久远时基态的占用空间是非常可观的,提出了多基态多级差文件修正方法,既能节省存储空间,又能减少历史数据的恢复时间[9]。刘仁义等认为时态数据库用户对数据具有厚今薄古或对某一特定时期操作频繁的特点,提出改变粒度索引因子来建立区段快速索引,以及创建3个表达不同时态的数据库,即现时库(现在时态)、过程库(进行时态)和分级索引的历史库(过去时态)[7]。

2.2 基于事件的时空数据模型及其扩展

为了能进行时间维上的深层分析,人们开始考虑从时间的角度进行时空建模。1995 年 Peuquet 和 Duan 从时间角度提出了基于事件的时空数据模型(Event - based Spatio - temporal Data Model,ESTDM),ESTDM 是对 TRIAD 中基于事件的视图单独进行深入研究的结果,这个模型按时间顺序把事件组成一个链。在事件上加上时间标记,在时间序列中展现每次变化,新发生的事件被加到事件系列的尾部。每个事件与一系列描述事件发生地址的事件组元相连。事件组元表示了在一个特定时间和特定地点的变化。与基态修正模型相比,在进行时态查询时,基于事件的时空数据模型要方便的多。但当某个时刻变化影响范围过大、涉及的空间目标过多或变化次数过多时,空间拓扑关系不易维护。这种时空数据模型因其优越性而为国内外广大学者所采用,但应用范围主要在地籍、房地产、土地利用等涉及面状地物的领域[10]。

陈秀万等认为 ESTDM 模型不可避免地受到栅格数据结构固有局限的制约,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。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,以实现在模型中引入矢量数据[11]。牛方曲等认为 ESTDM 模型没有完整记录变化的过程,致使时态拓扑查询变得很困难,而且在应用系统中,调用频率较高的是现状数据。并提出改进基于事件的时空数据模型[12],改进模型与 ESTDM 模型不同之处在于:其基图是现状数据,即完整记录了空间数据的现状及

事件的变化过程,方便时态拓扑查询和各区域的历史追溯。

2.3 面向对象的时空数据模型

面向对象的时空数据模型,即利用面向对象技术,将目标抽象为对象,对空间对象的属性和操作进行封装,并将时间维引入到对象中。该模型时空数据结构简单,充分利用面向对象软件技术,有利于时空数据模型的扩展与时态操作,但目前纯面向对象的 GIS 比较少,该模型仍有许多理论问题未得到解决[13]。

国外学者以 Worboys 为代表,国内最早研究面向对象时空数据模型的是舒红、龚健雅。1992 年 Worboys 最早提出了面向对象的时空模型,其基本思想是把 2 维平面与时间结合起来,在 3 维的时空世界中把世界划分成不同的时空原子,每个时空原子内部具有相同的时空属性[10]。舒红提出了面向对象的数据模型,给出了时空对象的操作类型,但并没有具体定义和实现,只是给出了一个逻辑框架[14]。龚健雅提出的面向对象的时空数据模型利用面向对象模型直接支持变长记录、多元组或对象嵌套的特点,将某些将会发生时态变化的字段进行特殊定义,允许它变长,或者说建立嵌套表[15]。曹志月等人提出了一种面向对象的时空数据模型[3],该模型在时空对象中,对地理信息的时间、空间和属性三部分进行统一表示;数据结构中支持了有效时间和数据库时间的双时序;对整个系统和具体对象的历史都采用了动态多级索引方式的基态修正存贮法,存贮效率较高,数据冗余少,并在武汉市市政管理中运用。

2.4 基于图论的时空数据模型

由于现有的时空数据模型多是从计算机表达的角度出发,而不是面向地学问题的,所以缺少对地理实体或现象的显式定义和基础关系的描述,不能在语义层次上实现数据的共享,对复杂地理实体或现象的描述及地理过程分析存在严重不足。快照序列模型、时空复合模型、时空立体模型等都是隐式表达时空关系;基态修正模型采用"基态 + 变化"来隐式表达实体及其时空关系。但是 TGIS 应明确存储已知或可能的时态拓扑关系,这将有助于再现时空进程的动态变化,使人们通过影响和改变进程去研究复杂关系、得出结论并探讨实体间的偶然联系。因此,时空信息的显式表达是 TGIS 进行时空分析的某础。

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。Laurini R 在描述地块的演变时,采用图论方法表达地块所发生的时空变化,出现了时空对象的重复表达。D. J. Wilcox, et al 提出了一种基于图论的方法描述时空关系与实体,该模型是传统 GIS 模型—快照序列模型—扩展的时空数据模型,用于研究空间上不连续变化、时间上连续变化的时空数据,图的边以跟踪空间对象的时空变化。在此基础上,尹章才等探讨并发展了基于图论的时空数据模型[16],该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,模型能显式表达时空实体与时态关系,避免了已有的图方法用快照序列进行数据的存储与表达。数据结构简单、统一,便于对时空数据进行有效查询与管理,减少数据库的访问次数,提高了数据获取效率,历史数据与现势数据易于分离。

3 存在问题及其发展方向

时空数据模型虽取得了一些可喜的研究成果,但从整体上看依然处于研究的初步探索阶段。特别对目前研究成果加以分析,时空数据模型研究存在问题及其发展方向如下:

1)从语义角度研究

对问题的准确表述是解决问题最基础、最重要的环节,时空数据模型也不例外。在对时空地理实体进行科学认知和表达时,领域科学家、数据收集者和 GIS 技术人员存在着重要的概念差异,导致他们对现实世界抽象方式、计算机组织和结构化数据的方式存在很大差异,而现有时空数据模型多是从计算机表达的角度出发,不是面向地学问题,所以,缺少对地理实体或现象的显式定义和基础关系描述,不能在语义层次上实现数据共享[17]。目前提出的模型众多,但真正能达到时空建模要求的模型几乎没有。其中一个主要原因是语义学的问题,如变化的语义、时间的语义、事件与过程、事件与状态的语义等。只有从语义上对这些概念进行统一,才能保证时空模型的通用化和实用化[18]。

2)从通用角度研究

迄今为止,还没有出现过一个公认完善而能实际商用化的时空数据库系统。主要问题是时空模型的复杂性。一方面,随时间变化,处理空间对象的位置及空间属性本身就相当复杂;另一方面,在系统中引入时态问题时必须考虑到物理存储和查询性能等问题,这使得时空建模更加复杂化[19]。此外,目前模型基本上是一种基于具体应用驱动的研究,为解决特定的问题而创建,局限于具体的应用领域和范围。这样,越来越多的不同的时空数据模型出现。每一个模型都有其优点和不足之处,一种模型在解决某一问题上可能有效,但在解决另一问题时可能就显得不足,模型的通用性比较差。因此,应该建立一个全面的模型框架,这个框架能够扩展到不同的应用领域,而不是被不同应用驱动建立成不同的数据模型。

3)从实用角度研究

目前的时空数据模型研究,提出的模型多,实现的原型少;理论研究多,应用研究少;学术门派多,应用开发商少[7];基于矢量数据的多,而基于栅格数据少[20];考虑离散变化的多,而考虑连续变化少[21]。特别是理论与应用结合不够,一些时空数据模型往往偏重或停留于理论研究,许多理论有待在应用实践中检验并进一步深入研究[22]。因此,Pato 等认为,为了追求时空模型的完美性,给出了太多的特性定义,反而阻碍了时空模型在应用领域的实现,他建议研究者应尽量不要提出那些不打算去原型化的时空模型[19]。姜晓轶等也认为不再生造没有实

(下转第 21 页)

6)双击列表控件中的某一项,即可定位显示该地物。

例如:在"绿东村..."对应的列表项上双击鼠标(如图 2 所示),即可直接定位显示"绿东村办事处"(如图 3 所示)。

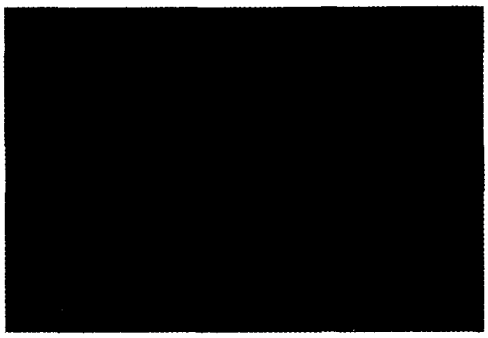


图 2　操作界面

Fig. 2　Operating interface

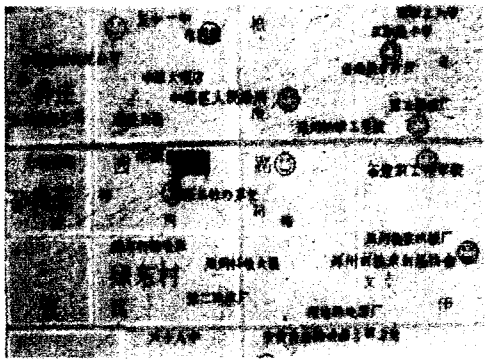


图 3　查询结果显示

Fig. 3　Displaying query results

3　结束语

数据库作为先进的数据管理技术,其应用已渗透到各个领域,任何信息系统都离不开数据库的支持。车辆导航系统作为一种嵌入式应用开发,同样离不开数据库的支持。本文讨论了车辆导航系统中利用 ADOCE 控件访问 Microsoft Access 数据库实现地物查询,具有一定的应用价值。可将该开发方式应用到别的嵌入式应用中。

参考文献:

[1] 陈涛. 车辆导航系统中大区域路径规划算法的设计与实现[D]. 郑州:信息工程大学测绘学院硕士论文,2005.

[2] 汪兵,李存斌,陈鹏,等. EVC 高级编程及其应用开发[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.

[3] 严富勇,邢建春,张宜军. 基于 Windows CE 3.0 的嵌入式数据库应用开发[J]. 电子工程师,2007,33(2):49-51.

[责任编辑:王丽欣]

(上接第 17 页)

质性创新特点的模型,而是集中精力研究现有模型的整合与归并,并重点研究模型的逻辑设计与系统实现,且能够与现有的主流 GIS 软件集成[18]。

4　结束语

TGIS 作为 GIS 理论和技术研究前沿领域的一个难点问题,越来越被重视,其时空数据模型的设计和实现一直是研究的重点。本文分析了 Gail Langran 的 4 种典型时空数据模型,包括时空立方体模型、序列快照模型、基态修正模型和时空复合模型;重点讨论了时空数据模型的一些最新研究成果,包括基态修正模型的扩展、基于事件的时空数据模型及其扩展、面向对象的时空数据模型以及基于图论的时空数据模型;最后,针对存在的诸多问题,建议时空数据模型研究应主要从语义、通用以及实用 3 个角度出发。

参考文献:

[1] 王家耀. 空间信息系统原理[M]. 北京:科学出版社,2001.

[2] 张祖勋,黄明智. TGIS 数据结构的研讨[J]. 测绘通报,1996,(1):19-22.

[3] 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.

[4] 舒红. Gail Langran 时空数据模型的统一[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2007,32(8):723-726.

[5] Langran G. Time in Geographic Information Systems[M]. London:Taylor&Francis Ltd,1992.

[6] 程昌秀,周成虎,陆锋. 对象关系型 GIS 中改进基态修正时空数据模型的实现[J]. 中国图象图形学报,2003,8A(6):697-702.

[7] 刘仁义,刘南. 基态修正时空数据模型的扩展及在土地产权产籍系统中的实现[J]. 测绘学报,2001,30(2):168-172.

[8] 乐燕芬,陈军. 顾及时态地块的土地划拨时空数据组织[J]. 武汉测绘科技大学学报,1997,22(3):223-228.

[9] 张保钢,朱重光,王润生. 改进的时空数据基态修正方法[J]. 测绘学报,2005,34(3):252-255.

[10] 张保钢. 时空数据模型在城市测绘数据库中的应用[D]. 北京:中国地质大学,2005.

[11] 陈秀万,吴欢,李小娟,等. 基于事件的土地利用时空数据模型研究[J]. 中国图象图形学报,2003,8A(8):958-963.

[12] 牛方曲,朱德海,程昌秀. 改进基于事件的时空数据模型[J]. 地球信息科学,2006,8(3):104-108.

[13] 孟令奎,赵春宇,林志勇,等. 基于地理事件时变序列的时空数据模型研究与实现[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2003,28(2):202-207.

(下转第 24 页)

等方法获取 DEM 数据。利用现有的地图数据,从中提取建筑物的轮廓线作为建筑物 3 维空间的平面数据。从影像中直接提取,用 laser ranger finder 结合 CCD 相机从地面获取,用 airborne laser scanner 结合空中影像建筑物高度数据经过算法处理提取等方法可获取建筑物 3 维空间的高度数据。通过地面摄影相片直接提取,由计算机做简单模拟绘制,根据摄影相片由计算机生成,由空中影像获取等方法能够得到纹理数据。

3)3 维空间数据管理

传统基于文件和关系数据库混合的空间数据库管理系统难以胜任 3 维空间数据管理。对象关系型数据库管理系统不仅保留了关系数据库的优点,而且采纳了面向对象数据库设计的某些原理,具有将结构性的数据组织成某种特定数据类型的机制,使它不仅能处理 3 维数据的复杂关系,也能将逻辑上需要以整体对待的数据组织成一个对象,实现对 3DGIS 海量数据的有效管理。

4)3 维空间数据分析

3 维空间数据分析的研究集中在基本 3 维空间的属性分析功能和拓扑分析功能上,而且分析功能的强弱和效率直接取决于所采用的数据模型和数据管理系统。3DGIS 一般都是根据实际应用的需要实现部分 3 维空间分析功能,再在基本空间分析功能基础上构建专业分析功能[6]。

5)3 维空间数据可视化

通过 OpenGL,JAVA 3D,Direct 3D,IDL 和 Quick Draw 3D 等 3D API 与应用程序开发语言相结合直接生成 3 维模型实现 3 维可视化。

2.4 城市 3 维地理信息系统原型总体设计

由于城市 3DGIS 系统涉及的功能较多,所以整个系统建立一个基于附加策略的原型,对每一个具体功能单独建立一个原型。在功能原型确定后,将其并入到系统原型中,最终完成系统原型。

一个城市 3DGIS 最基本的模型框架一般由 3 维数据输入、3 维数据管理、3 维空间分析、3 维数据输出等部分组成,据此建立系统功能原型。城市 3 维地理信息系统软件结构图如图 2 所示。通过与用户的交互,消除歧义,确定功能,不断完善各个原型,最终获得一份合理的、协调一致的、无歧义的、完整的现实可行的需求。

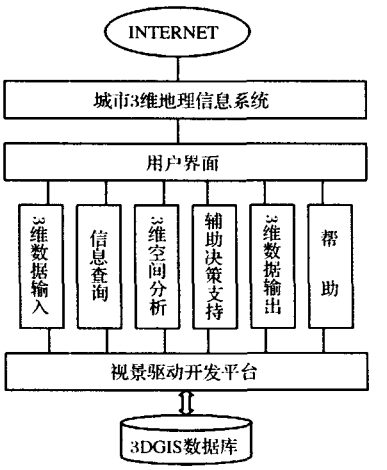


图 2 城市 3 维地理信息系统软件结构图

Fig. 2 The software structure of urban 3D GIS

3 结束语

采用快速原型法开发城市 3 维地理信息系统,可以在很大程度上节省时间、人力和物力资源,更好地满足用户的实际需求。3DGIS 在数字城市的建设中占有重要地位,但城市 3 维地理信息系统的理论和应用目前还处于研究和探索阶段,还有许多问题尚需进一步的研究。

参考文献:

[1] 毕本硕,王桥. 地理信息系统软件工程的原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.

[2] 李代平. 软件工程[M]. 北京:冶金工业出版社,2002.

[3] 张海林,王明生. 基于组件技术的行业 3DGIS 的研究与设计[J]. 石家庄铁道学院学报,2004,17(4):79 - 82.

[4] 童恒建,吴信才. 3 维地理信息系统的设计[J]. 计算机工程与应用,2003,39(35):110 - 111.

[5] 吴立新,史文中. 3DGIS 与 3DGMS 中的空间构模技术[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(1):5 - 11.

[6] 施加松,刘建忠. 3DGIS 技术研究发展综述[J]. 测绘科学,2005,30(5):117 - 119.

[编辑:宋丽茹]

(上接第 21 页)

[14] 舒红,陈军,杜道生,等. 面向对象的时空数据模型[J]. 武汉测绘科技大学学报,1997,22(3):229 - 233.

[15] 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.

[16] 尹章才,季霖,艾自兴. 基于图论的时空数据模型研究[J]. 测绘学报,2003,32(2):169 - 172.

[17] 王家耀,魏海平,成毅,等. 时空 GIS 的研究与进展[J]. 测绘科学,2004,24(5):1 - 4.

[18] 姜晓轶,周云轩. 从空间到时间 - 时空数据模型研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2006,36(3):480 - 485.

[19] 罗年学. 时空对象模型及其在地籍信息系统中的应用研究用[D]. 武汉:武汉大学,2002.

[20] 陈志泊. GIS 中栅格数据时空数据模型及其应用的研究[D]. 北京:北京林业大学,2005.

[21] Bonan Li, Guoray Cai. A General Object - Oriented Spatial Temporal Data Model [C]//Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa 2002.

[22] 唐新明,吴岚. 时空数据库模型和时间地理信息系统框架(续)[J]. 遥感信息,1999,(2):8 - 11.

[责任编辑:王丽欣]