

基态修正时空数据模型的进一步扩展^{*}

余志文, 张利田, 邬永宏
(中山大学遥感中心, 广东 广州 510275)

摘要: 引入超图模型的部分理论, 建立了基于基态修正的面向对象时空数据模型, 很好地解决了时空对象的空间关系和时空对象之间的关系。提出了时空对象的索引结构, 并引入基态距因子和等比系数, 从而大大提高了查询效率, 并缩短了查询时间。

关键词: 数据模型; 超图模型; 基态; 索引

中图分类号: P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003) 01-0100-04

自从 1988 年 Langran^[1] 和 Chrisman 提出时间地理信息系统 (TGIS) 后, TGIS 就成为 GIS 的热门话题。国内外的学者纷纷提出各自的时空数据模型理论, 以实现时空数据的一体化存储, 但是这些模型在实际运用中都存在缺陷。有些模型在理论上比较完美, 但却难以在实际中应用。如非第一范式关系时空数据模型^[2], 元组可以采用不定长和嵌套方式, 对于复杂的空间单元的变化或整个演变历史只需一个元组来模拟。非第一范式关系时空数据模型非常适合时态 GIS 的应用, 但在实际中却受到商业数据库软件的制约。有些理论在实际中容易运用, 但其理论却存在一些不足之处。如: 传统的基态修正模型^[3] 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。但基态修正模型较难处理给定时刻的时空对象的空间关系, 而且对很远的过去状态进行检索时, 几乎对整个历史状况进行阅读操作, 效率很低。其它的一些模型, 如: 基于 Kevin Ian 3D 模型的紧致时空数据模型^[4]、时空复合模型、第一范式关系时空数据模型都存在上述的矛盾。到目前为止, 还没有比较成熟的时态地理信息系统模型, 也没有商品化的时空分析模块。

因此, 必须解决这些矛盾。对理论完美、缺乏数据库软件支持的模型来说, 能做的只有等待数据库软件的更新换代, 但这需要很长的一段时期。而对理论不完善, 实际应用容易的模型来说, 要做的是完善这些理论。基态修正时空数据模型的扩展正是对其不足之处的完善。

1 基于基态修正的面向对象时空数据模型

自从基态修正时空数据模型提出以后, 许多学者对其进行了扩展和完善。基态修正时空数据模型的不足之处主要有两个方面: 时空对象的空间关系没处理好和对历史时期的检索时间长。为了解决时空对象的空间关系问题, 面向对象的技术被引入到时空数据模型中^[5], 用面向对象技术模拟时空及属性信息^[6]。而在基态修正的时空数据模型中引入面向对象技术就产生了基于基态修正的面向对象时空数据模型。基态修正是对数据存储而言的, 面向对象则是对数据组织而言的, 两者并不冲突。在这方面, 曹志月等^[7] 对这种模型进行了研究, 在一定程度上解决了该模型的矛盾, 但并没有完全解决时空对象空间关系的问题。

目前, 能较好地解决空间关系的模型是超图模型。虽然它不是时空数据模型, 但其中的部分理论 (特别是空间关系的理论) 却可以引入到时空数据模型中。超图的概念由 Kraak 首先提出的。Booch^[8] 在此基础上进行了扩展, 他认为组成超图的空间对象应包括目标识别码 ID、内部属性 S 和方法集 M: 即 $H = \{ID, S, M\}$ 。Yuan^[9] 对这个概念进行了扩展, 建立了面向对象的分布式的超图模型。超图模型由一组空间对象 O^s 构成, $H = \{O_1^s, O_2^s, O_3^s, O_4^s, \dots\}$ 。每个空间对象 O^s 包括 4 个元素: 对象识别码 ID、超媒体 H^M 、超图形 H^G 、超链接 H^L , 即 $O_s = \{ID, H^M, H^G, H^L\}$ 。在超图模型的基础上, 作者对时空对象进一步定义 $O^s = \{\text{基态码},$

* 收稿日期: 2002-04-19

基金项目: 广东省“十五”重大科技专项资助项目 (2001A1010301); 广东省百项工程资助项目 (2KB062025)

作者简介: 余志文 (1979 年生), 男, 硕士研究生; E-mail: yuzhiwen@163.net; 通讯联系人: 张利田。

ID-T、非空间特征、空间特征、关系、事件}。基态码用来表示距该段时间最近的基态所在的时刻，也就是某一特定时刻所有对象存在的状态。ID-T 为对象的唯一识别码，其后组成对象 ID-T 在该 ID-T 基础上进一步变化。非空间特征和空间特征是对象的属性，包括时间属性，相当于前面的 S。关系和事件相当于前面的 M。时空对象 O^s 是一个复合的对象，它所包括的非空间特征和空间特征都可以看成是一个对象由对象识别码 ID-T、内部属性 S 和方法集 M 组成，即非空间特征 $Attribute = \{ID-T^A, S^A, M^A\}$ ；空间特征 $Spatial = \{ID-T^S, S^S, M^S\}$ 。事件用来记录所做的操作及发生的事件。关系用来记录对象内部及对象之间的关系。

关系既包括空间关系，如：Disjoint（相离）、Touch（相接）、Cross（相交）、Equal（相等）、Within（在里面）、Contain（包含）、Overlap（相交叠）等^[10]；也包括对象之间的关系，如：概括关系、部分与整体的关系、推导关系等，这些关系的引入能够很好解决基于基态修正的面向对象时空数据模型的时空对象之间的空间关系问题。

以电子交通地图对象为例，关系不但包含原有的空间关系，还新增了许多对象之间的关系。图 1 表示部分与整体的关系。

- 1 :50 000 的广州市电子交通地图
- 1 :50 000 的深圳市电子交通地图
-
- 1 :50 000 的广东省电子交通地图

图 1 部分与整体的关系

Fig. 1 The relation between parts in the system

2 时空对象的时间序列表达

一般 GIS 中仅考虑事件时间^[11,12]，有 3 种方法来表达空间对象在数据库中的变化：①当一个或者若干个对象在一次事件中发生变化时，对这些对象所涉及的关系表重建一个新的版本；②对变化的对象给定一个新的版本；③仅仅对对象变化所涉及到的属性字段增加一个新的值^[13]。本文采用的是①和③的结合（如图 2）：当大部分对象都发生变化时，重新建立一个新的版本，称为“基态”，作为查询的索引起点，也作为新变化的起点；而对于一个或若干个对象发生变化，则在对象变化所涉及到的属性字段上增加一个新的值，称为差文件。时空对象的起始态、基态和终止态的时间标记都记录在 time 属性内，作为时间的直接索引。当用户查找历史事件时，数据库首先判断距离所要查找事件发生

的时间最近的基态，然后在该基态的基础上加上差文件，就可以得到用户所要的结果。这种方法既吸取了第一种方法查询速度快的优点，又吸取了③中数据冗余度小的优势，能够迅速找出整体的历史信息，也能灵活地查找部分变化的历史信息。

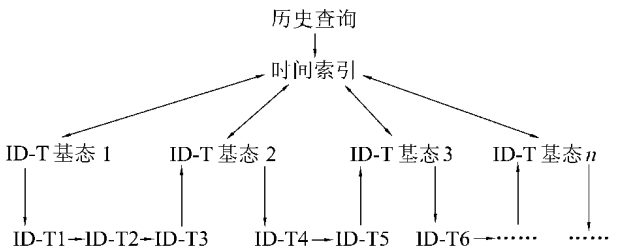


图 2 时空对象的时间序列表达

Fig. 2 The flow chart for the spatio-temporal data structure

3 时空数据的存储方式

对于基态修正时空数据模型的存储方式，国内外的学者已经进行了大量的研究。为了提高查询效率，国内外学者基态修正时空数据模型的存储方式进行了修正。图 3 是几种比较典型的对基态的修正方式。

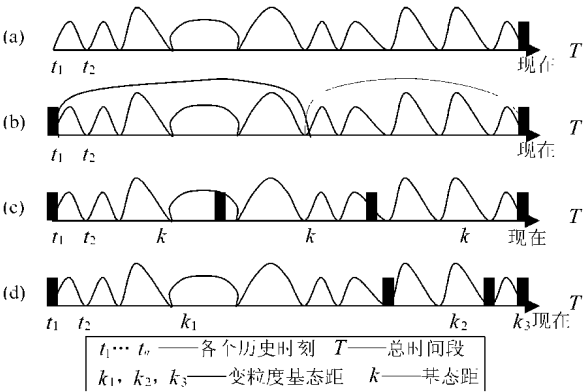


图 3 各种基态修正方式的对比

Fig. 3 The schema of four different amending methods for the base state

图 3 (a) 是 Longran^[1] 的基态修正方式，只记录了一个数据基态和相对于基态的变化值。当搜索过去状态时，查询速度很慢。

图 3 (b) 是张祖勋等^[14]改进后的基态修正方式。他们把时间段 T 分成两部分，对前半段时间，从起始状态不断阅读差文件，状态不断沿着时间轴正向变化，直到查询到所需时刻为止；而对后半段时间，从现在状态不断阅读差文件，状态不断沿着时间轴反向变化，直到查询到所需时刻为止。

图 3 (c) 是文献[7]对基态修正方式，采用动

态多级索引方法。在整个历史状态中动态地设立多个基态，基态间的差文件数，称为基态距（ k ）。可根据具体应用由用户或系统确定基态距阈值。系统中，随着对象历史状态的插入、修正，以及对历史时期的检索频繁程度而动态地创立基态。当用户对某时间段的检索较频繁时，特别是对于连续变化的时空过程，差文件的恢复中大量的连续变化属性的推导过程会占去较大的时间开销，通过动态创建差文件和基态的方法，缓解了这一问题。动态多级索引方法大大提高了查询效率。

但是，使用差文件数作为基态距不利于差文件的更新和索引的建立，基态距 k 是等距的，基态的分布位置不是最优的基态位置。只有与查询频率分布相符合的基态分布位置才是最好的基态位置。从我国学者唐常杰等人的最新研究成果“动态数据变粒度分段存储策略”中可以看出，各个历史时期查询的频繁程度是不同的，离现在时刻越远的历史时期，查询的频繁程度越小；离现在时刻越近的历史时期，查询的频繁程度越大。因此，引入变粒度基态距因子，离现在时刻越远的基态之间的基态距越大，离现在时刻越近的基态之间的基态距越小。这样就可以使总的查询时间大大缩小，查询效率大大提高。接下来，需要考虑的问题是基态的动态更新问题。除了起始基态以外，其余的基态都要随着时间的不断前移而每隔一段时间进行自动更新。但是，如果基态距因子间及基态距因子和总差文件数 Q 之间不存在一定的相关关系，是难以完成基态的自动更新的，即使能完成，在实践中也要耗费大量的人力、时间。为了解决这个问题，在分析各种关系后，作者引入等比系数 a （ $a < 1$ ），令 k_1 、 k_2 、 k_3 、……、 k_n 之间形成等比关系 $k_2/k_1 = k_3/k_2 = k_4/k_3 \cdots = a$ ，则可以建立总差文件 Q 、 a 和 k_1 之间关系， $Q = k_1 / (1 - a)$ 。总差文件 Q 的值是已知的，如果选定 a 的值，就可以确定变粒度基态距因子的值： $k_1 = Q \times (1 - a)$ ， $k_2 = Q \times (1 - a) \times a$ ， $k_3 = Q \times (1 - a) \times a^2$ ，……。当等比系数 a 的值选择确定，就可以实现变粒度基态距因子随着 Q 的变化而自动更新。这种方法在实践中是很

容易实现的。 Q 的值是现在的总差文件数，而 a 的值可以通过取小样本进行调查而确定，然后通过有限叠代法即可实现。关于 a 值的确定，根据统计学原理，样本在一定程度上可以反映总体。作者选取两个样本进行调查，每个样本包括 50 人，分别为学校内的老师和学生、学校外的专业人员和非专业人员。调查所要研究的对象是 1981—2000 年之间时空数据查询各个时段所能忍受的等待时间。为了消除等待时间相差过大，造成无法统计。调查时，不给出具体时间，只给出时间单元[1—15]，1 代表 1 个时间单元，15 代表 15 个时间单元。等待时间与所要阅读的差文件数是成正比的。差文件数越多，查询时间越长，等待的时间也越长；反之，则相反。调查结果表明（如表 1），与现在时刻间隔的时间越长，用户所愿意等待的时间也越长；反之，则相反。把结果转化后代入上述公式，可求出 a 的取值。 a 的取值在 0.3~0.5 之间为最佳。当然，小样本的取值只能代表部分，而不能代表总体， a 的取值仍要通过实际情况来确定，但前面的取值可作为参考。

随着时间的推移， Q 值逐渐变大，通过上述公式，就可以求出新基态所在的差文件位置。旧基态加上新旧基态时间段内的差文件，即可更新为新基态。如图 4，总差文件数由 Q 增大到 Q_1 ， $q_{基2}$ 时的基态也就变成了 $q'_{基2}$ 时的基态， $q'_{基2} - q_{基2}$ 所得到的差文件，就是旧基态变化成新基态的过程。

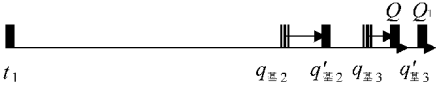


图 4 新旧基态的更新过程
Fig 4 The schema for the updating processes

另外，基态的个数不能设立太多，太多的话，会大大增加存储的空间，因此基态的个数控制在 3 或 4 个最适合。通过上面的改进可以提高大部分用户的检索时间，当然对小部分用户来说，检索时间延长，但从检索的总时间看，时间减少，效率提高。

表 1 对 1981—2000 年之间时空数据查询等待时间表

Tab 1 The time required for the access to the data

时间	1981—1982	1983—1984	1985—1986	1987—1988	1989—1990	1991—1992	1993—1994	1995—1996	1997—1998	1999—2000
第一组	12.6	12	11.9	11.8	10.6	8.5	8.2	6.1	5.1	3.8
第二组	13	12.5	12.4	12.3	11.5	9.6	9.3	6.5	5.2	3.9

4 结 论

(1) 超图模型部分理论的引入解决了基态修正时空数据模型中时空对象的空间关系和其它一些关系问题。但是空间关系的存储还不理想，需要进一步研究。

(2) 变粒度基态距因子的引入大大提高了时空数据的检索效率，而等比系数 a 的引入则实现了基态的自动更新。通过控制叠代的次数，可以有效地控制基态的个数，从而可以避免基态过多带来的存储空间拥塞、数据冗余问题。改进后的动态多级索引方式的基态修正存储法存储效率较高，数据冗余也大大减小。但要注意处理好查询时间与存储空间的关系。基态个数多，查询时间短，但存储空间占用多，反之，则相反。

参考文献：

[1] LANGRAN G. Temporal GIS design trade offs // Proceedings of GIS/LIS '88 [C] . San Antonio: ACSM, 1988: 890—899.
[2] 陈军, 陈尚超, 唐治锋. 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.
[3] SHU H, CHEN J, SHI W Z. Overview of spatio-temporal data model[J] . Science of Computer, 1998, 25(6): 70—74.

[4] 蔡砥, 徐建华. 基于 Kevin-lan 3D 模型的紧致时空数据模型[J] . 测绘科学, 2002, 31(1): 77—81.
[5] EGENHOFER M J, FRANK A. Object-oriented modeling in GIS: inheritance and propagation // Proceedings of Autocarto 9 [C] . USA: Baltimore, 1989: 588—598.
[6] SHI W Z. Objected-oriented Approach for spatial, temporal and attribute data modeling // Proceedings of GIS/LIS '95 [C] . Nashville: Nashville Convention Center, 1995.
[7] 曹志月, 刘岳. 一种面向对象的时空数据模型[J] . 测绘科学, 2002, 31(1): 87—92.
[8] BOOCH G. Object solution: managing the object-oriented project[M] . Menlo Park: Addison Wesley, 1996.
[9] YUAN X R, CHEN N C, GONG J Y. A distributed hypermap model for internet GIS [J] . Geo-spatial Information Science, 2000, 3(4): 9—15.
[10] 王家耀. 空间信息系统原理[M] . 北京: 科学出版社, 2001: 122—123.
[11] ARMSTRONG M P. Temporality in spatial database // Proceedings of GIS/LIS '88 [C] . 1988: 880—889.
[12] CHEN J, LE Y F. Describing land subdivision process with extended space-time composite model // Proceedings of LIESMARS '1995 [C] . Wuhan, 1995: 104—113.
[13] 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.
[14] 张祖勋, 黄明智. 时态 GIS 数据结构的讨论[J] . 测绘通报, 1996(1): 19—22.

The Extention of Spatio temporal Data Model
Based on Base State with Amendments

YU Zhi wen, ZHANG Li tian, WU Yong hong

(The Center of Remote Sensing, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: An obiect oriented spatio temporal data model based on base state with amendments is built after introducing part of hypermap theory. It can solve the problem of the relations between spatio temporal data model and introduced the factor of base state interval ang parameter of geometric proportion. Thus, the efficiency of query was improved and the query time decreased.

Key words: spatio temporal data model; hypermap model; base state