



测绘科技专著出版基金资助
CEHUI KEJI ZHUANZHU CHUBAN JIJIN ZIZHU

SPATIO-TEMPORAL DATA MODEL ON
URBAN DATABASE OF SURVEYING AND MAPPING

张保钢 著

城市测绘 数据库 时空数据模型

测绘出版社

测绘科技专著出版基金资助

城市测绘数据库时空数据模型

SPATIO-TEMPORAL DATA MODEL ON
URBAN DATABASE OF SURVEYING AND MAPPING

张保钢 著

测绘出版社

·北京·

内容简介

时空数据模型是随着地籍、房产 GIS 的发展而出现的一种数据模型。随着城市基础测绘更速度的加快,时空数据模型开始渗透到城市测绘领域。本书是时空数据模型在城市测绘数据库应用的一个尝试,共由 9 章组成。第一章介绍时空数据模型与时空数据库的概念。第二至四章分别以城市地名、规划道路中线、城市建筑物为例,研究了点、线、面状地物的时空数据模型。第五章重点讨论城市大比例尺地形图时空数据建库问题。第六章提出了一种多基态多级差文件的时空数据模型。第七章提出了一种同时基于位置、对象和时间的时空数据模型。最后研究了通用时空数据模型以及时空数据的可视化表达。

本书适于地理信息系统、测绘、地理等地质学相关领域的科研、生产、开发人员使用,也可供大学测绘工程、地理信息系统专业高年级本科生、研究生参考使用。

© 张保钢 2007

图书在版编目(CIP)数据

城市测绘数据库时空数据模型/张保钢著. —北京:
测绘出版社, 2007. 11

ISBN 978-7-5030-1719-3

I. 城... II. 张... III. 城市测量:空间测量—数据模型
IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 149439 号

责任编辑 金晓华

封面设计 赵培壁

出版发行 测绘出版社
社 址 北京市西城区复外三里河路 50 号
电 话 010-68512386 68531558
印 刷 北京通州次渠印刷厂

邮政编码 100045
网 址 www.sinomaps.com
经 销 新华书店

成品规格 169mm×239mm
字 数 130 千字

印 张 6.75

版 次 2007 年 11 月第 1 版
印 数 0001—2000

印 次 2007 年 11 月第 1 次印刷
定 价 20.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1719-3/P. 459

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

前 言

如何建立有效的时空数据模型来表述地理实体的时空特性并据此建立时空数据库管理时空信息是 GIS 研究的热点问题。一些学者从不同方面或以不同方式研究了多种时空数据模型。较为常用的时空数据模型主要有基态修正式、时空复合式、面向对象式和基于事件的时空数据模型。这些模型主要限于理论研究和地籍、房产等少数时态性较强的领域。城市测绘数据库应用时空数据模型还处于起步阶段。

本书首先评述了时空数据模型的研究进展,列举了城市测绘数据库的内容,分析了城市测绘数据库的建设现状。在分析已有地名数据库不足的基础上,应用基态式时空数据模型建立了地名数据库的时空数据模型,实现了对时态地名数据库的编辑更新以及时空查询。在提出规划道路中线时空复合模型的基础上实现了对规划路的各种更新编辑操作,结合应用实例实现了对规划路数据的时态查询。随着时间的延续,碎分弧段增多,建立的时空数据库会变得越来越大。本书提出按目标的生命终止时间分库,对各库分别查询,对查询结果进行逻辑操作的方法。

针对线状地物时空复合模型容易形成碎分弧段,数据不易维护的不足,本文提出了规划道路中线面向对象的时空数据模型。这个模型具有图形、属性、时态一体化存储及维护方便、操作简单和查询效率高的特点。对规划道路复合对象进行了定义,对规划道路的空间操作进行了归纳,并对每项操作进行了动作分解;分析了每项操作可能引起的诱发事件;实现了时态数据库的维护更新及时态数据的查询操作、时态关系操作和时间对象生成操作。

应用基态修正法进行城市建筑物数据库更新和历史数据派生,数据库每次更新的要素分类为增加要素和删除要素。采用基态加差文件的方法可以恢复任何历史时期的历史数据。相对来讲,时态数据的查询较为复杂。若查询某一历史时期的时空目标,则需查询现状库和各个差文件,对符合查询条件的各时空目标集合做逻辑运算,如“交”或“并”等得到查询目标。

在已建立时空数据模型的基础上,从时空数据库的建立过程、时空数据库设计、时空数据采集与现状数据入库、时空数据变化的发现与获取、时空数据库的更新维护、时空数据库的历史数据恢复几个方面研究了地形图时空数据库的建设问题。

分析了已有基于基态修正模型的 5 种数据存储方式,在此基础上提出了多基态多级索引修正方法、多基态单级索引修正方法。与已有方法相比,上述两种方法具有节省存储空间,检索速度快且不受历史久远影响的特点。多基态多级索引修正方法与多基态单级索引修正方法相比,没有增加存储空间,但提高了检索速度。

讨论了基态距阈值的确定方法,认为基态距阈值与时空数据库每次更新的目标数相关,更新目标数大时基态距阈值较小,目标数小时基态距阈值相对较大。

基于位置或对象的时空数据模型时间维功能受到约束,基于时间的时空数据模型在应用中需要重新开发空间部分功能。同时基于事件和基于空间对象的时空模型不能进行基于位置的查询。在同时基于事件和基于空间对象的时空数据模型基础上,提出了一种同时基于位置、对象和时间的时空数据模型,并对此模型进行了关系分解。该模型弥补了其他模型的不足。以一个城市的城市化历史为例,实现了对时空目标分别基于位置、对象和时间的查询。

归纳了点、线、面状地物时空信息的可视化表达方法。点状地物可用扩张符号或结构符号表示其数量属性指标的变化,运动线法表示其位置变化。线状地物可用货流图表示其数量属性指标的变化,不同的线型表示其空间位置的变化。应用快照式和增量式两种可视化方法来可视化动态地形图数据,相比之下,增量式具有更大的优点。

本书在笔者博士论文基础上加工而成,其中第九章为新增内容,同时也是笔者长期从事城市测绘数据库建设的经验总结。时空数据模型在城市测绘数据库中的应用刚刚起步,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请读者见谅并批评指正。

2007年5月

目 录

第 1 章 概述	(1)
§ 1.1 时空数据模型及其研究进展	(1)
§ 1.2 城市测绘数据库的建设现状	(12)
§ 1.3 本书的研究目的、内容与方法	(14)
第 2 章 点状地名的时空数据模型	(16)
§ 2.1 概述	(16)
§ 2.2 点状地名的时空数据模型	(17)
§ 2.3 地名数据库的编辑更新	(18)
§ 2.4 地名数据库的时态查询	(19)
§ 2.5 多义地名的处理	(22)
§ 2.6 本章小结	(22)
第 3 章 规划道路中线的时空数据模型	(23)
§ 3.1 概述	(23)
§ 3.2 规划道路中线时空复合模型	(24)
§ 3.3 面向对象的规划路中线时空数据模型	(39)
§ 3.4 本章小结	(46)
第 4 章 城市建筑物的时空数据模型	(47)
§ 4.1 概述	(47)
§ 4.2 建筑物更新类型	(48)
§ 4.3 时空数据模型的建立	(49)
§ 4.4 实例	(51)
§ 4.5 本章小结	(53)
第 5 章 城市地形图时空数据库建设	(54)
§ 5.1 概述	(54)
§ 5.2 时空数据库的建立过程	(55)
§ 5.3 时空数据库设计	(56)
§ 5.4 时空数据采集与现状数据入库	(60)
§ 5.5 时空数据库的更新维护	(61)
§ 5.6 时空数据库的历史数据恢复与可视化	(63)

§ 5.7	效果分析	(65)
§ 5.8	本章小结	(65)
第 6 章	改进的时空数据基态修正方法	(66)
§ 6.1	概述	(66)
§ 6.2	多基态多级差文件修正方法	(68)
§ 6.3	基态距阈值的确定	(70)
§ 6.4	实例	(71)
§ 6.5	本章小结	(74)
第 7 章	基于位置、对象和时间的时空数据模型	(75)
§ 7.1	概述	(75)
§ 7.2	基于位置、对象和时间的空间时态概念数据模型	(75)
§ 7.3	模型的关系分解	(77)
§ 7.4	模型的一个应用实例	(77)
§ 7.5	本章小结	(79)
第 8 章	通用时空数据模型研究	(81)
§ 8.1	概述	(81)
§ 8.2	基于位置的时空数据模型	(81)
§ 8.3	基于对象的时空数据模型	(82)
§ 8.4	基于时间的时空数据模型	(82)
§ 8.5	时空分离的时空数据模型	(84)
§ 8.6	本章小结	(84)
第 9 章	时空数据的可视化表达	(85)
§ 9.1	点状地物时空数据的可视化表达	(85)
§ 9.2	线状地物时空数据的可视化表达	(86)
§ 9.3	面状地物时空数据的可视化表达	(87)
§ 9.4	地形图时空数据的可视化表达	(88)
§ 9.5	本章小结	(89)
第 10 章	总结与展望	(90)
参考文献		(92)
致谢		(99)

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	(1)
§ 1.1 Spatio-temporal data model and its development	(1)
§ 1.2 Present situation of urban surveying and mapping database	(12)
§ 1.3 Objects, contents and methods of this book	(14)
Chapter 2 Spatio-temporal data model of point place-names	(16)
§ 2.1 Introduction	(16)
§ 2.2 Spatio-temporal data model of point place-names	(17)
§ 2.3 Updating of place-names database	(18)
§ 2.4 Temporal query on place-names database	(19)
§ 2.5 Processing multi-meaning place names	(22)
§ 2.6 Summary	(22)
Chapter 3 Spatio-temporal data model of planning road centerlines	(23)
§ 3.1 Introduction	(23)
§ 3.2 Spatio-temporal composite data model of planning road centerlines	(24)
§ 3.3 Object-oriented spatio-temporal data model of planning road ...	(39)
§ 3.4 Summary	(46)
Chapter 4 Spatio-temporal model of urban buildings	(47)
§ 4.1 Introduction	(47)
§ 4.2 Updating types of buildings	(48)
§ 4.3 Construction of spatio-temporal data model	(49)
§ 4.4 Experimental results	(51)
§ 4.5 Summary	(53)
Chapter 5 Construction of spatio-temporal database on urban relief	(54)
§ 5.1 Introduction	(54)
§ 5.2 Construction process of spatio-temporal database	(55)
§ 5.3 Design for spatio-temporal database	(56)
§ 5.4 Acquisition and input database of spatio-temporal data	(60)
§ 5.5 Updating maintenance of spatio-temporal database	(61)
§ 5.6 Recovering and visualization of historical data in a spatio- temporal database	(63)
§ 5.7 Effect analysis	(65)
§ 5.8 Summary	(65)

Chapter 6	An improved method of base state with amendments on spatio-temporal data	(66)
§ 6.1	Introduction	(66)
§ 6.2	Amendment way of muti-base-states and multi-classes delta-files	(68)
§ 6.3	Decision of threshold of base-state distance	(70)
§ 6.4	Experimental results	(71)
§ 6.5	Summary	(74)
Chapter 7	A spatio-temporal model based on position, object and time together	(75)
§ 7.1	Introduction	(75)
§ 7.2	A conceptual spatio-temporal model based on position, object and time together	(75)
§ 7.3	Relation decomposing on the model	(77)
§ 7.4	Application instance of the model	(77)
§ 7.5	Summary	(79)
Chapter 8	Research on general spatio-temporal data model	(81)
§ 8.1	Introduction	(81)
§ 8.2	Spatio-temporal data model based on position	(81)
§ 8.3	Spatio-temporal data model based on objects	(82)
§ 8.4	Spatio-temporal data model based on time	(82)
§ 8.5	Spatio-temporal data model with space away from time	(84)
§ 8.6	Summary	(84)
Chapter 9	Visualization expression on spatio-temporal data	(85)
§ 9.1	Visualization expression on spatio-temporal data of point features	(85)
§ 9.2	Visualization expression on spatio-temporal data of line features	(86)
§ 9.3	Visualization expression on spatio-temporal data of polygon features	(87)
§ 9.4	Visualization of relief spatio-temporal data	(88)
§ 9.5	Summary	(89)
Chapter 10	Summary and prospect	(90)
References		(92)
Acknowledgements		(99)

第1章 概述

§ 1.1 时空数据模型及其研究进展

1.1.1 空间实体的特征及其在 GIS 中的表示

空间实体是地理信息系统研究和表示的对象。空间实体在现实世界中是多种多样和不可穷尽的,它们彼此之间又是相互联系和密不可分的。地理信息系统要表示空间实体,就要对这些空间实体的特征进行分类归纳,找出其共有的和特有的特征。一般来讲地理信息系统中的空间实体有以下 4 个方面的特征(马智民等,1996)。

(1)空间定位特征 人们在研究空间实体的分布时,首先要确定空间实体在一定空间参照系中的位置,这是空间信息区别于非空间信息的一个显著标志。空间实体的这种定位特征往往是通过公共的地理基础来体现的,即按照世界、国家或地方的坐标系来实现空间位置的识别。

(2)属性特征 空间实体的属性特征是一个空间实体区别于其他空间实体的重要标志。属性特征常用特征码和属性值表示。

(3)多维特征 空间实体在客观世界中的发展和演变往往表现出多维结构特征。在 GIS 中,空间实体的多维特征表示为 3 种类型:2 维,平面的 XY 坐标或经纬度坐标;3 维,空间实体的平面坐标和高程值分别作为独立变量存储在一种数据结构中;4 维,空间实体的 3 维空间坐标外加时间维。

(4)时序特征 指空间实体随时间变化的特征。例如,土地或房屋的权属随着交易而发生变化,城市道路由于城市建设或改造而发生变化,海岸线由于海水的侵蚀或泥土沙石的堆积而发生变化。目前常规的 GIS 中仅表示一个时间段(比如当前的)空间信息,但是大量的历史空间信息是非常重要的和有保存价值的。人们往往要对不同历史时期的空间信息进行叠加、比较或追溯某些目标的变化情况,甚至人们还要根据当前和历史的情况预测未来某个时间的情况。

1.1.2 时间与时空数据模型的概念

1. 与时间有关的几个概念

时间的概念是一个古老的话题,它在不同的领域(如哲学、心理学、语言学、人

工智能学、DBMS 和 GIS)有不同的理解。亚里士多德认为时间是运动量,牛顿认为时间是绝对的,爱因斯坦则认为时间是相对的。这里不讨论时间在各个领域定义的差异,只是描述与地理信息系统中有关的时间定义。

于峰(2003)^①认为,时间是一条没有端点,向过去和将来无限延伸的线轴,除了与空间一样具有通用性、连续性和可量测性外,还具有运动的不可逆性(或称单向性)和全序性。

史蒂芬·霍金在其《时间简史》中指出:“1915年之前,空间和时间被认为是事件在其中发生的固定舞台,而它们不受在其中发生的事件的影响。即便在狭义相对论中,这也是对的。物体运动,力相互吸引并排斥,但时间和空间则完全不受影响地延伸着。空间和时间很自然地被认为无限地向前延伸。”接下来他论述到:“在以后的几十年中,对空间和时间的新的理解是对我们的宇宙观的变革。古老的关于基本上不变的,已经存在并将继续存在无限久的宇宙观念,已为运动的膨胀的并且看来是从一个有限的过去开始并将在有限的将来终结的宇宙的观念所取代。”“罗杰·彭罗斯和我指出,从爱因斯坦广义相对论可推断出,宇宙必须有个开端,并可能有个终结。”

基于以上分析,笔者认为:时间是一条有端点,向过去和将来有限延伸的线轴,与空间一样具有通用性、连续性和可量测性。

用线轴表示时间的方法称为时间表示的线性结构,另外还有时间表示的循环结构、分支结构和多维结构。本书没有涉及循环结构和分支结构,多维结构仅介绍世界时间和事务时间。

时态数据库中表示的时间主要有两种,即世界时间(World Time)和事务时间(Transaction Time)。空间目标在现实世界中发生的时间称为世界时间(也叫事件时间或数据时间)(Snodgrass et al,1985)。在数据库中记录事件的时间称为事务时间(王英杰等,2003)或数据库时间、执行时间、系统时间。人们感兴趣的通常是世界时间。根据上述定义,事务时间通常不早于世界时间。

理解地理信息的时间语义,首先要区别时段和时刻的概念。时段是一个区间的概念,如果将其表示在数轴上,图形为一段线段。时刻是一个瞬间完成的点的概念。如果将其表示在数轴上,图形为一个点。上文提到的世界时间和事务时间属于时刻范畴。说起时段和时刻不能不提到计时单位,计时单位是指数据库中最短且不可分割的时间段,如年、月、日、时、分、秒、毫秒等。从计时单位的定义来看时段和时刻是相对的,用较小的时间单位时,时刻可以转化为时段,反之,用较大的时间单位时,时段可以转化为时刻。例如当时间单位是天时,2004年5月1日是一个时刻,但当时间单位是小时时,2004年5月1日是一个时段表示从2004年5月

① 引自论文《时空数据模型的研究及其在时空地图可视化系统中的应用》(中国地质大学)。

1日0时到24时。

状态和事件是与时段和时刻概念相对应的另一对概念。状态是空间目标保持不发生变化的性质。史蒂芬·霍金认为,状态是由它的时间和位置所指定的时空中的一一点。笔者认为事件是空间目标从一个状态变化到另外一个状态的过程。在时空数据库中,通常用有效时间(空间目标在现实世界中存在的时间区间)表示空间目标的状态,时刻表示空间事件发生变化的瞬时。

状态和事件是将事物的变化看成是间断的和突变的,事件是瞬间发生的。按照马克思的哲学观,任何事物的变化都有一个量变到质变的过程。变化是绝对的,不变是相对的。例如在地籍管理中,宗地的变更登记是一个事件,是在某一天完成的。但登记事件本身又经历了初审、二审等几道工序,这几道工序本身又是由不同的事件和状态构成。因此,时段和时刻、状态和事件都是相对而言的。

另外,现实世界中有的变化是连续的,如云的变化、空气的流动、洪水的蔓延等,它们不能用简单的事件和状态来描述。对它们的描述参见下文“3. 时空变化”一节。

2. 时态关系

时态关系是指地理事件之间的关系。地理事件的时间可区分为绝对时间定位值和相对时间关系。相对时间关系主要指时间的方向、距离、拓扑关系。时间方向关系指事件发生的次序不变性,如一个地理事件“先(Before)”或“后(After)”于另一地理事件。时间的距离关系指一个地理事件“早(Earlier)”或“晚(Later)”于另一地理事件多长时间。时间拓扑关系是指事件发生的同时不变性,如一事件与另一事件“不同时(Unconcurrent)”发生,一事件“紧接着(Follow)”另一事件发生等。

有关时态关系的研究较著名的有3种,即 Allen 的时态关系区间代数、王家厥的统一时态模型和舒红等的基于点集理论的时态拓扑关系四元组 4I 描述框架。Allen(1985)的时态关系区间代数包括了13个定性的确定时态关系,如图1-1所示。

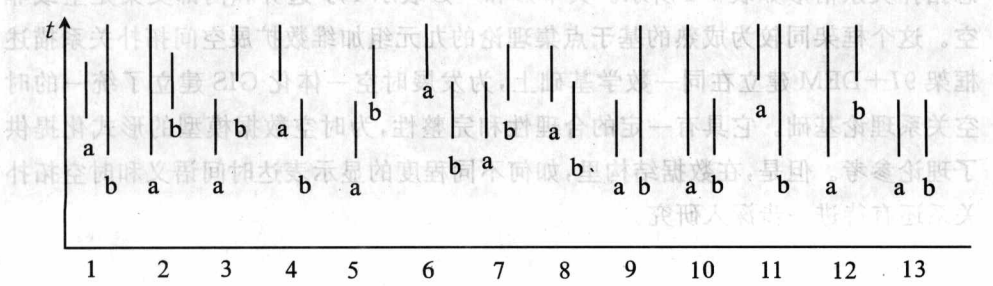


图 1-1 时间区间的13个定性的确定时态关系

图 1-1 中自左至右依次为:1 During(a, b), a 在 b 中; 2 Contains(a, b), a 包含 b, 或 $\text{during}^{-1}(a, b)$, b 在 a 中; 3 Before(a, b), a 先于 b; 4 After(a, b), a 晚于 b, 或 $\text{Before}^{-1}(a, b)$, b 先于 a; 5 Meet(a, b), a 与 b 相遇且 a 先于 b; 6 Metby(a, b), a 与 b 相遇且 a 晚于 b, 或 $\text{Meet}^{-1}(a, b)$, b 与 a 相遇且 b 先于 a; 7 Overlap(a, b), a 与 b 交叉且 a 先于 b; 8 Overlapby(a, b), a 与 b 交叉且 a 晚于 b, 或 $\text{Overlap}^{-1}(a, b)$, b 与 a 交叉且 b 先于 a; 9 Starts(a, b), a 与 b 开始同时且 a 短于 b; 10 Startby(a, b), a 与 b 开始同时且 a 长于 b, 或 $\text{Start}^{-1}(a, b)$, b 与 a 同时开始且 b 短于 a; 11 Finish(a, b), a 与 b 结束同时且 a 短于 b; 12 Finish by(a, b), a 与 b 结束同时且 a 长于 b, 或 $\text{Finish}^{-1}(a, b)$, b 与 a 同时结束且 b 短于 a; 13 Equal(a, b), a 与 b 相同。

王家厥提出了一个统一的时态模型, 可以表示定量的和定性的时态信息, 也可以表示确定的和不确定的时态信息。其中定义了时间点和时间区间。同时定义了时间点和时间区间以及时间区间之间的关系, 另外讨论了关系的合成和推理问题, 而且对调度等问题的求解较有实用价值, 但有待进一步的探讨。

基于 Max Egenhofer 等提出的空间拓扑关系点集理论描述框架, 舒红等 (1997) 给出了时态拓扑关系描述的四元组框架 4I, 具体描述如下。

时间全集 T 模拟成 1 维实数欧氏空间 IR^1 (1 维实数轴), 实数间的“小于等于 \leq ”全序关系对应事件的“紧接着发生 (Follow)”关系。I, J 为两个不同的时态目标 (标记两个不同地学状态或两个不同的地学事件的时间区间), 则 I, J 间的基于点集理论的时态拓扑关系 $T_{Top}(I, J)$ 的 4I 描述框架为

$$T_{Top}(I, J) = \left\{ \begin{array}{ll} \partial I \cap \partial J & \partial I \cap J^0 \\ I^0 \cap \partial J & I^0 \cap J^0 \end{array} \right\} \text{或} \\ T_{Top}(\partial I \cap \partial J, \partial I \cap J^0, I^0 \cap \partial J, I^0 \cap J^0)$$

根据时间全集和时态目标的实际情况, 剔除不能成立的 8 种情形, 剩下 8 种时态拓扑关系情形如表 1-1 所示。其中 \emptyset 和 $-\emptyset$ 表示 I, J 边界和内部交集是空或非空。这个框架同较为成熟的基于点集理论的非元组加维数扩展空间拓扑关系描述框架 9I+DEM 建立在同一数学基础上, 为发展时空一体化 GIS 建立了统一的时空关系理论基础。它具有一定的合理性和完整性, 为时空数据模型的形式化提供了理论参考。但是, 在数据结构里, 如何不同程度的显示表达时间语义和时空拓扑关系还有待进一步深入研究。

表 1-1 两时态目标间的时态拓扑关系

图 示	矩 阵	谓 词	语 义
$\frac{I}{J}$	$\begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$	$T_{disjoint}$	I 与 J 间隔出现
$\frac{I}{J}$	$\begin{pmatrix} -\emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$	T_{meet}	I 与 J 相遇出现
$\frac{I}{J}$	$\begin{pmatrix} -\emptyset & -\emptyset \\ -\emptyset & -\emptyset \end{pmatrix}$	$T_{overlap}$	I 与 J 部分同时出现
$\frac{I}{J}$	$\begin{pmatrix} -\emptyset & \emptyset \\ -\emptyset & -\emptyset \end{pmatrix}$	T_{cover}	I 变化期间 J 出现
$\frac{I}{J}$	$\begin{pmatrix} -\emptyset & -\emptyset \\ \emptyset & -\emptyset \end{pmatrix}$	$T_{coveredby}$	I 在 J 变化期间出现
$\frac{I}{J}$	$\begin{pmatrix} -\emptyset & \emptyset \\ \emptyset & -\emptyset \end{pmatrix}$	T_{equal}	I 与 J 完全同时出现
$\frac{I}{J}$	$\begin{pmatrix} -\emptyset & -\emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$	T_{inside}	I 在 J 出现过程中出现
$\frac{I}{J}$	$\begin{pmatrix} -\emptyset & \emptyset \\ -\emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$	$T_{contains}$	I 出现的过程中 J 出现

从上文的论述来看,虽然时态关系区间代数和时态拓扑关系 4I 描述框架的出发点不同,但结果是一致的。如 $T_{disjoint}$ 可细分为“Before”和“After”,“ T_{meet} ”可细分为“Meet”和“Metby”,“ $T_{overlap}$ ”可细分为“Overlap(I, J)”和“Overlappedby(I, J)”,“ T_{cover} ”可细分为“Finishedby”和“Startedby”,“ $T_{coveredby}$ ”可细分为“Finish”和“Start”。

苏山舞(2004)给出了时刻与时刻、时段与时刻、时刻与时段的拓扑关系。时刻

与时刻间的关系较为简单:此时刻时间早于彼时刻时间、此时刻时间等于彼时刻时间、此时刻时间晚于彼时刻时间。时段与时刻间的关系有以下5种:此时段结束时间早于彼时刻时间、此时段结束时间等于彼时刻时间、此时段开始时间早于彼时刻时间并且此时段结束时间晚于彼时刻时间、此时段开始时间等于彼时刻时间、此时段开始时间晚于彼时刻时间。时刻与时段的关系也有5种:此时刻时间早于彼时段开始时间、此时刻时间等于彼时段开始时间、此时刻时间在彼时段开始时间与结束时间之间、此时刻时间等于彼时段结束时间、此时刻时间晚于彼时段结束时间。

3. 时空变化

时空数据模型里的语义包括时间语义、空间语义和属性语义。地学实体的状态由地学空间状态和地学属性状态构成,则地学变化可划分为地学实体的空间状态变化、属性状态变化和空间属性状态变化。

时空数据模型本质上是空间目标运动变化的模型。要建立时空数据模型,就必须研究时空变化。目前关于时空变化的分类可以归为4种:Yuan(1996)根据一个对象在时间、空间和属性三方面的变化特性将时空变化分为6种时间、空间变化类型,唐新明等(1999)根据一个对象以及变化的突然性和渐变特性将时空变化分为8种类型,Nancy(1999)根据变化现象在时空方面的特性将地学变化现象分为12类,Wang等人(2001)则将时空变化类型分为3种。

Yuan(1996)将一个对象在时间、空间和属性三方面的变化特性划分的6种类型:①属性变化,②静态空间分布,③静态时间变化,④动态的空间变化,⑤过程的转换,⑥实体的运动。唐新明(1999)根据一个对象(包括时间、空间和属性)以及变化的突然性和渐变特性将时空变化分类为8种类型:①属性的突然变化,②属性的渐进变化,③位置的突然变化,④位置的渐进变化,⑤位置和属性的突然变化,⑥位置和属性的渐进变化,⑦属性的突然变化而位置的渐进变化,⑧属性的渐进变化而位置的突然变化。Nancy(1999)利用时间维上的3类变化(连续的、间断的和周期的)和空间维上的4类描述(点、线、面、体),提出了对地学变化的12种概念分类:连续点变化、周期点变化、间歇点变化、连续线变化、周期线变化、间歇线变化、连续面变化、周期面变化、间歇面变化、连续体变化、周期体变化和间歇体变化。Wang等人(2001)根据时空对象的空间特征(如位置、边界、形状等),将时空变化归为3种类型:①连续变化,②离散变化,③级进变化。

对目前时空变化的4种分类方式作比较,应该说Wang等人的分类最为简单,变化程度描述较细,但分类较粗,没有考虑属性信息变化;Nancy的分类方式考虑空间实体的几何特征较全面,但分类方式不够严密,周期性的变化可以归类到连续性变化或间断式变化之中。同样没有考虑属性变化。Yuan和唐新明的分类除考虑时空变化外还考虑了属性变化,变化特征的描述有待进一步细化。

如果将空间实体分为点、线、面、体 4 种类型,实体的属性只作为变化的一个方面考虑,实体空间、属性的变化均归类为连续变化、离散变化和级进变化,那么空间实体的变化有

$$C_4^1 C_3^1 C_3^1 + C_4^1 \times 3 + 12 = 60$$

时空变化有 60 种。如果点、线、面、体每种类型的空间实体分别有 A_1, A_2, A_3, A_4 个不同属性项,那么时空变化的种类数为

$$\begin{aligned} & C_3^1 C_{A_1}^1 C_3^1 + C_3^1 C_{A_2}^1 C_3^1 + C_3^1 C_{A_3}^1 C_3^1 + C_3^1 C_{A_4}^1 C_3^1 + C_4^1 \times 3 + \\ & (C_4^1 C_{A_1}^1 - 1) + (C_4^1 C_{A_2}^1 - 1) + (C_4^1 C_{A_3}^1 - 1) + (C_4^1 C_{A_4}^1 - 1) = \\ & 9(C_{A_1}^1 + C_{A_2}^1 + C_{A_3}^1 + C_{A_4}^1) + 12 + \\ & 4(C_{A_1}^1 + C_{A_2}^1 + C_{A_3}^1 + C_{A_4}^1) - 4 = \\ & 13(C_{A_1}^1 + C_{A_2}^1 + C_{A_3}^1 + C_{A_4}^1) + 8 \end{aligned}$$

4. 地理目标的时空数据模型

地理目标(Geo-Object)的表示都是通过空间(Space)、时间(Time)、属性(Attribute)来表示的。若用数学模型来表示,地理目标的时空模型可以表示为

$$\text{Geo-Object} = f(\text{Space}, \text{Time}, \text{Attribute}) \quad (1-1)$$

时空数据模型就是一种有效组织和管理时态地理数据,属性、空间和时间语义更完整的地理数据模型^①。

1.1.3 已有时空数据模型评说

Langran 和 Chrisman(1988)于 1988 年提出时间地理信息系统(Temporal GIS,简称 TGIS)的概念,认为时间地理信息系统是“能够同时处理空间维度、属性维度和时间维度的 GIS”。1988 年 Lorentzos、1989 年 Langran(1989)作了 TGIS 方面最早的博士论文。1996 年 UCGISci (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。

常规的地理信息系统仅存储、管理某个时期或最新的空间数据,不能存储或管理不同历史时期的空间数据,但大量的历史数据是非常有价值的,例如人们需要某个城市的历史面貌,某块土地在某个历史时期的归属等等。用户的需求推动了时态地理信息系统的发展,一些学者提出了不同的时空数据模型。最初的时空数据模型是快照模型(Snapshot)(Armstrong,1988),它保存不同时刻某一空间范围的空间图像。这种模型简单,容易实现。但存在着明显的缺点:①数据冗余大,当两个时刻同一空间目标没有发生变化时也要重复存储。②信息丢漏,变化频率快的空间目标可能在快照的两个时刻发生了多次变化。③只能表示空间目标的在快照

① 请参考北京大学 2003 年博士论文《铁路物流运输时空模型研究》。

时刻的状态,两快照之间空间地物的状态未知。④难于进行基于时间的查询。为了克服时间快照模型重复记录未发生变化空间目标的缺点,人们又提出了基态修正模型(Langran,1989),基态修正模型直接记录和维护单个空间目标及拓扑信息的变化,不存储每个状态的全部信息,只存储某个时间的基态以及相对于基态的变化(又叫差文件)。基态一般指系统最后一次更新的数据状态。这种方法适于变化地物较少,变化频率相对较小的空间地物。当进行时态查询时要进行基态和差文件空间逻辑运算,当变化次数较多时,要对整个数据库进行阅读操作,以读取每次变化的变化量。张祖勋等人(1996)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,当历史久远时建立多级差文件方法仍不理想。曹志月等人(2002)提出了动态多级索引法,其实质是在经历一定的变化次数后增加一个基态,这种方法一定程度上提高了历史数据恢复的速度,但相对张祖勋方法增加了基态存储量,两基态中间状态的恢复所需差文件数远远多于张祖勋方法。

另外 Langran G(1989)还提出了时空复合法。与基态修正法相比,时空复合法存储的不再是相对上一次的变化量,而是变化后的值,它把空间分割成具有相同时空过程的最大公共时空单元。也就是说,变化的累积形成最小变化单元,最小变化单元构成的图形文件和记录变化历史的属性文件联系在一起即可完整表达数据的时空特征。这种方法使每个时间段的情况由这些最小变化单元重建。这种方法涉及公共边、公共多边形等的多次存储,比基态修正法数据冗余量大,每个时刻的空间状态需要随机生成。为优化时空数据存储,Thomas 等人(2001)在 2001 年提出了矢量修正模型,这个模型是时间复合模型的改进,它用弧段来代替时间复合模型中的离散对象。例如当一条现状道路与一条新增的规划道路交叉时,就会改变已经存在的现状道路弧段——在已有道路弧段上增加一个新的结点。这样只用记录一个变化,即原来的弧段 a_1 被新的弧段 a_2 和 a_3 代替。其优点是构成时间切片的对象可以使用关系结构进行系统重建,减少了时间复合模型的冗余量。这种方法适于变化频率不大的时空变化。

以上时空模型大都是在空间模型的基础上扩展时间维,只能进行基于地理位置与地理对象的简单历史查询,不能进行时间维上的深层分析,如事件因果关系分析。为了克服以上不足,人们开始考虑从时间的角度进行时空建模。1995 年 Peuquet 和 Duan(1995)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)。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。事件组元表示了一个特定的时间特定地点的变化。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得多。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