

# 时空数据模型的研究与进展\*

李阳东, 刘妙龙, 童小华

(同济大学 测量与国土信息工程系, 上海 200092)

**摘要:** 时态地理信息系统(TGIS)以表达、管理和分析动态变化的地理现象为目的,其核心是时空数据库,因此对时空数据库的理论基础——时空数据模型的研究十分必要。目前的时空数据模型主要有简单模型、时空联合模型、时空属三域模型、基于对象/特征的模型和基于事件/过程的模型等。首先对这些模型进行了回顾,对其优缺点和侧重点进行了分析对比,然后在此基础上对时空数据模型的进一步研究方向进行了剖析。

**关键词:** 时空数据模型; 时态地理信息系统; 时空数据库

中图分类号: TP311.12 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2008)05-1281-04

## Research and development of spatio-temporal data model

LI Yang-dong, LIU Miao-long, TONG Xiao-hua

(Dept. of Surveying & Geoinformatics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Temporal geographic information systems(TGIS) aim to represent, manage and analyze the dynamically changing geographic phenomena. Spatio-temporal database is the core of TGIS, and its theoretical foundation is spatio-temporal data model, so the research of spatio-temporal data model is very essential. The presented spatio-temporal data models include simple models, space-time joint models, space-time-attribute three-domain models, object-/feature-based models and event-/process-oriented models, *et al.* This paper reviewed these models, analyzed and compared their advantages and disadvantages and emphases. Furthermore, pointed out the future research directions on spatio-temporal data models.

**Key words:** spatio-temporal data model; TGIS; spatio-temporal database

GIS以表达、管理和分析客观世界动态变化的地理现象为目的。传统GIS管理的只是静态数据,它们只能保留现实世界的一个状态,或因现状信息的更新而不能保存动态地理现象的历史信息,或能保留某一时刻的历史信息但不能保留现状的最新信息。因此,静态GIS无法对动态变化的时空现象进行处理,无法对环境变化检测、交通运输、社会经济、土地变更、天气预报等应用的动态变化过程进行分析、评价或预测。变化与时间息息相关,为了跟踪变化,需要在GIS中引入时间信息,这就是时态地理信息系统(TGIS)所面临的任务。时空数据库是TGIS的核心,而时空数据库的概念基础是时空数据模型,因此建立有效的数据模型是TGIS的关键。自Thrift在1977年提出TGIS的概念以来,国内外众多学者对时空数据模型进行了广泛关注并展开了研究,提出了一些模型。

### 1 时空数据模型的研究现状

为了对客观世界的动态地理现象进行描述、表达和管理,需要把时间信息引入传统的静态GIS中,形成空间、时间和属性三位一体的TGIS。与时态数据库一样,在空间数据库中引入时间也有三种方式,即时间版本图层、时间版本对象和时间版本属性等,它们的实现主要是在传统的关系数据库进行扩展。随着面向对象技术的应用,也有一部分学者在面向对象的数据库上进行模型的具体实现,但目前较多的则是采用对象—

关系模型,因为他们充分利用了面向对象的建模技术和关系数据库技术两者的优点。虽然TGIS的概念产生时间不长,但计算机领域和GIS领域对时空数据模型的研究还是相当投入,自从Bery在1964年提出管理时空数据的地理空间—时间矩阵模型以来,出现了一些新的成果模型,如序列快照模型<sup>[1]</sup>、基态修正模型<sup>[2]</sup>、时空复合模型<sup>[1]</sup>、时空对象模型<sup>[3]</sup>等。这些模型根据不同的侧重点可以分为不同的类型。笔者根据模型的特点,把它们分为简单、时空联合、时空属三域、基于对象/特征的模型和基于事件/过程的模型等几类。

#### 1.1 简单模型

简单模型主要包括序列快照模型(sequential snapshot model)及其扩展的基态修正模型(base state with amendments model),它们是模拟时间的简单模型。

序列快照模型是目前时态GIS中被广泛采用的时空数据模型之一,也是GIS中最简单的一种情况。在Langran的快照模型中,它通过时间切片方法对连续变化的地理现象进行采样,转换成离散部分,各个切片分别对应不同时刻的状态。时间信息通过数据层时间戳的方式引入空间数据模型。每个层是某一主题的时间上相同单元的集合,层与层之间没有显式的时间关系。序列快照模型最大的弊端是重复存储没有变化的数据,导致了大量的数据冗余。为了减少数据冗余,Langran在时间切片模型上进行改进,提出了基态修正模型。它采用起始

收稿日期: 2007-05-10; 修回日期: 2007-07-23 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40301043); 教育部新世纪优秀人才支持计划基金资助项目(NCET-06-0381)

作者简介: 李阳东(1977-),男,湖北通城人,博士研究生,主要研究方向为时态GIS理论、方法和时空数据库(lyd911@163.com); 刘妙龙(1944-),男,上海人,教授,博导,主要研究方向为城市地理、GIS理论与应用; 童小华(1971-),男,江西东乡人,教授,博导,工学博士,主要研究方向为GIS数据误差处理与质量控制。

状态底图和相邻切片之间的变化来对变化的时空数据进行表示和存储。这种方式对变化进行了显式存储,因而很容易获得切片之间的状态,同时减少了数据冗余,节省了存储空间。

## 1.2 时空联合模型

时空联合模型是空间与时间组成的联合体作为建模的基本单元。该类模型主要考虑的是空间对象随时间在空间上的变化,实现时时间往往作为空间对象的属性。主要模型有时空复合模型(space-time composite model)和时空对象模型(ST-object model)。

时空复合模型是 Chrisman 于 1983 年针对矢量模型提出的,后来又与 Langran 对模型进行了进一步完善(图 1)。该模型把世界表示成在三维空间(层)内具有空间同质、时间统一的对象,即时空复合单元的集合。每一个时空复合单元在属性上的变化有唯一的时间过程,在概念上描述了一个空间对象在一段时间内的变化。该模型将空间变化和属性变化都映射为空间的变化,导致新实体的产生;对 STC 数据库的更新需要对 STC 单元进行重构;STC 单元之间的几何和拓扑关系以及整个数据库的空间对象表和属性表也都要重新进行组织。该模型是序列快照和基图修正的折中模型。

时空对象模型或双时间时空对象模型<sup>[4]</sup>通过引入与二维空间正交的时间维把世界表达成由时空原子组成的离散对象集合。时空原子是同时在空间和时间上具有特定属性的最大同质单元。尽管单个时空原子不能发生变化,由时空原子构成的时空对象可以在空间和时间上发生变化。因此,该模型可以通过把时空原子投影到空间和/或时间空间上对时空对象发生在时间维和/或空间维上的变化进行记录。

## 1.3 时空属三域模型

前面的模型要么只考虑了对象的属性数据随时间的变化,要么只考虑对象的空间特征随时间的变化,而不能对对象的空间特征和属性特征随时间的变化同时进行建模。而集成时间、空间和属性的模型则可以避免这方面的不足。

Peuquet 认为由于时间和空间性质的不同而把时间作为新的一维结合空间三维形成的 4D 模型在表达上是不够的,并提出了从基于位置、基于时间和基于对象的三种相关视图角度组织的 what/when/where 的三元时空数据模型框架来表达动态世界<sup>[5]</sup>。这种方案符合人们整体和灵活地感知动态世界的方式<sup>[6]</sup>。Yuan<sup>[7]</sup>在对森林火灾的时空信息研究分析时也提出把时间域作为一个单独的概念与属性(语义)域和空间域并列,并在各自的域中定义了对象。这三个域中的数据分别存储在三个表中,这些表连同对象版本用一个被称为域连接表的表进行关联(图 2)。该模型能够从以位置为中心、实体为中心和时间为中心的角度对现实的属性变化、静态空间分布、静态空间变化、动态空间变化、过程变异和实体运动六种变化进行表达<sup>[8]</sup>。

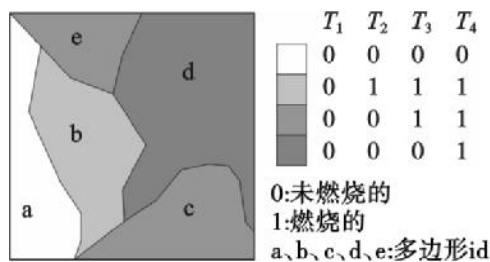


图 1 一个时空复合模型的例子

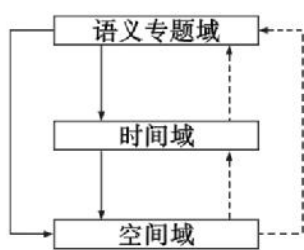


图 2 三域模型概念框架

## 1.4 基于对象/特征的模型

基于对象的模型是把信息空间分解为对象或实体。一个

实体必须符合可被识别、重要和可被描述三个条件<sup>[9]</sup>。基于对象的时空模型通常用面向对象方法描述,其具体实现则可用关系数据库实现,也可以用面向对象的数据库实现。面向对象方法把世界抽象为由对象组成,把具有共同特征的事物抽象为类。类是由数据成员和成员函数组成,前者反映对象的静态结构特性,后者则反映了动态行为特征。数据模型的结构用数据成员来定义,而操作和一致性规则通过操作来定义。面向对象方法提供了一些抽象机制,如泛化、特化、聚合和关联等。由于面向对象的数据库模型具有丰富的语义、可描述复杂对象的功能和数据抽象机制等优点,受到 TGIS 领域广大专家学者的青睐<sup>[10-15]</sup>。

前面提到的 Worboys<sup>[3]</sup>的时空对象模型其实也是一种基于对象的时空数据模型。在他工作的基础上,Raza 和 Kainz 用 Brisson 的格子(cell)复合体的格子元组结构进行了扩展,提出了面向对象的基于格子元组的时空数据模型<sup>[10]</sup>。在其模型中,运用面向对象技术以一个统一的模式来对空间、时间和属性三个分量进行建模,他们把现实看成一个称之为时空属性对象(spatio-temporal-attribute object, STAO)的对象。一个时空属性对象被定义为 STAO objectID, attributeID, n-TcellID,  $DT_{1-T}$ ,  $WT_{1-T}$ 。其中:objectID 为对象标志;attributeID 为属性对象标志;n-TcellID 为格子复合体表示的空间对象标志; $DT_{1-T}$ 和  $WT_{1-T}$ 分别表示数据库时间和世界时间。该基于格子元组的时空对象模型的一个显著优点是以一种隐式方式对时空拓扑进行了存储和对空间对象的一致处理。该模型较适合于处理土地系统或城市规划等离散变化,不适合于运动对象。

国内也有一些学者采用面向对象方法对时空数据模型进行描述。比较典型的是基于 node-arc-polygon 的面向对象时空数据模型<sup>[11]</sup>、基于 OpenGIS 简单要素规范的通用面向对象时空数据模型——GOO-STDM<sup>[12]</sup>和面向对象的时空属性概念模型(OOSTACM)<sup>[13]</sup>等。

在基于对象的建模方法中,有一类特殊的对象建模方法——基于地理特征的建模方法。这里的特征较之一般的对象具有更明确的语义信息,它是地球空间上客观存在的、具有描述信息的、具有共同特征的地理现象,如河流、道路、建筑等。基于特征的时空数据建模是把地理特征作为基本的建模单元,从几何信息、专题与语义信息及时态信息几方面对地理特征进行描述的建模方法。因此以特征为基本构造单元的模型对空间、专题、时间属性和关系提供了直接访问,能够对多表达和多几何抽象提供支持。基于特征的建模方法是近来研究的热点之一,国内外不少学者对其进行了研究<sup>[16-21]</sup>。

## 1.5 基于事件/过程的模型

前面的模型都关心的是时空现象的结构特性,可以解决或部分解决何时、何地 and 什么的变化问题,而没有对动态地理现象的行为特性和驱动力即如何变(how)和变化原因(why)进行描述。基于事件<sup>[22-27]</sup>或基于过程<sup>[28,29]</sup>的模型可以描述动态地理现象的行为特性和变化原因。事件是对象从一个状态变化到另一个状态的原因;过程则描述了一个状态变化到另一个状态的具体细节。为此,事件方法成为众多学者关注的热点。

事件方法中比较著名的模型是 Peuquet 和 Duan 提出的 ESTDM(图 3)<sup>[22]</sup>。该模型是面向位置的,用栅格表达方式来对位置变化的时空信息进行组织。模型存储的是相对前一个状态的变化而不是快照,用一个头文件保存专题域的信息、指

向基图的指针和指向第一个以及最后一个事件列表的指针。基图显示的是一个地理区域内的某一单个专题信息的初始快照。该专题域的时空动态变化构成了一个事件系列,每个被时间标记的事件与指示变化发生地的事件组件列表相关联。一个事件组件表示事先定义位置(栅格单元)在一个特定时间点发生的变化。由于 ESTDM 每次事件发生时,记录的是事件发生的时间和发生变化的区域以及该区域变化后的状态,而没有明确记录该区域在变化之前的状态,即该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。为此,牛方曲等人<sup>[23]</sup>在 ESTDM 模型基础上进行了改进,使得模型可以完整地记录下地理现象的变化过程,即同时记录了事件中各位置变化前后的状态,方便时态拓扑查询和各区域的历史追溯。

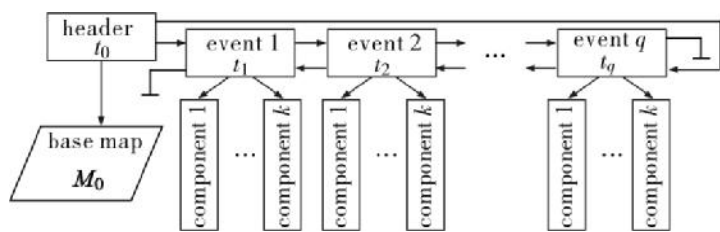


图 3 ESTDM 模型

徐志红等人<sup>[25]</sup>从历史数据的应用角度出发,提出了基于事件语义信息描述的五域(对象、时间、空间、事件/行为、属性/专题)时态 GIS 模型。该模型通过对象的唯一标志对对象发生的时间、空间位置、发生原因及属性或专题等信息进行关联。该模型可以完成对 who、when、where、how、how many 和 what 的查询。

## 2 时空模型的对比分析

从第 1 章可以看出,国内外对时空模型的研究比较多,提出了不少时空模型。下面对其中的一些主要模型从数据冗余度、模型支持的查询范围、处理连续变化、处理运动等方面进行比较分析(表 1)。从表 1 中对比的情况可以看出:

a) 数据冗余度最大的模型是快照模型;其他几个模型存储的是对象的快照或变化而不是整个区域的快照,因而其数据冗余度较小。

b) 模型所支持的查询范围方面,三域和五域模型的范围较广;时空对象模型次之;其他模型的查询类型都很有限,基本上只支持一些简单的查询。

c) 状态查询和变化查询是时态 GIS 中两类主要的查询,其查询效率和难易程度直接反映模型的优劣。从对比情况看,基态修正模型及其为基础的面向事件模型 ESTDM,因为它们对变化进行了直接存储,导致在获取状态方面较难,而在变化获取方面却较容易。获取变化较难的是快照模型和时空复合模型。

d) 除了三域和五域模型外,其他模型都依赖于空间对象的存在,即模型是用具有空间几何位置的空间对象来对时空信息进行组织和管理的。这样它们就不能适应空间维缺少的情況。

e) 受传统 GIS 侧重于制图的影响,大部分模型都主要支持空间特性的变化,对属性变化支持程度较低,大多只支持部分与空间相关的属性。Worboys 的时空对象模型没有涉及属性变化,只有三域和五域模型才可以完全对对象的语义描述属性变化进行表达。

f) 变化类型支持方面。所有的模型都支持离散变化,而对

连续变化和运动都支持的只有三域模型;另外时空对象模型能够支持连续变化。

g) 事件作为导致变化的原因,只有面向事件模型 ESTDM 和五域模型对事件予以支持。

h) 这些模型中引入时间有四种方式,分别是版本图层、版本空间对象、版本事件和作为独立的事件对象;模型在支持时间维度方面,有只支持有效时间的,也有支持双时间的即同时支持有效时间和事务时间。

i) 空间数据的表达方式上,只有快照和基态修正模型可采用矢量和栅格两种表达形式;而面向事件模型 ESTDM 较适合于栅格表达;其他的都采用矢量表达。

表 1 时空数据模型比较

模型	数据冗余度	查询能力	获取状态	获取变化	依赖空间维	处理属性变化	支持离散变化	支持连续变化
快照模型 (Langran, 1988)	大	弱	易	难	是	部分	是	否
基态修正模型 (Langran, 1992)	小	弱	难	易	是	部分	是	否
时空复合模型 (Langran & Chrisman, 1988)	小	弱	易	难	是	部分	是	否
时空对象模型 (Worboys, 1992)	小	较强	易	易	是	否	是	是
三域模型 (Yuan, 1994)	小	强	易	易	否	是	是	是
面向事件模型 (ESTDM)	小	弱	难	易	是	部分	是	否
五域模型 (徐志红, 2002)	小	强	易	易	否	是	是	否

模型	支持运动	考虑事件	时间参与形式	时间维度	空间表达方式
快照模型 (Langran, 1988)	否	否	版本图层(位置/对象的属性)	VT	矢量/栅格
基态修正模型 (Langran, 1992)	否	否	版本图层(位置/对象的属性)	VT	矢量/栅格
时空复合模型 (Langran & Chrisman, 1988)	否	否	版本空间对象(作为空间实体的一部分)	BT	矢量
时空对象模型 (Worboys, 1992)	否	否	版本空间对象(作为新的一维)	BT	矢量
三域模型 (Yuan, 1994)	是	否	独立的时间对象	BT	矢量
面向事件模型 (ESTDM)	否	是	版本事件(或作为事件的属性)	VT	栅格
五域模型 (徐志红, 2002)	否	是	独立的时间对象	BT	矢量

注:表中 VT 表示有效时间;BT 表示有效时间和事务时间即双时间。

由上述比较分析可以看出,这些模型在某些方面比较优越,在另外一些方面又存在不理想的情况。但总体来说,三域模型对变化的语义、正交性方面支持较好,而面向事件和五域模型对事件进行了部分建模,值得进一步发展。

## 3 时空数据模型的研究方向

综上所述可以看出,这些模型各有优缺点,虽然某些模型相比之下显得比较优秀,但是在某些方面还值得进一步研究、改进。例如三域模型没有对变化的原因进行表达,基于事件或过程的模型能很好地体现地理现象的行为特性,但是对事件和过程的语义研究还很浅<sup>[24,26~33]</sup>。

笔者认为,一个好的时空数据模型应该是:尽可能满足所有时空变化语义;抽象模型的设计具有通用性和逻辑模型面向应用;同时要满足空间、属性、时间等的正交性,数据冗余度小和时空数据查询及分析的高效。结合以上分析,笔者认为针对

时空数据的模型还有以下几个方面需要进一步展开研究:

a) 时空模型的语义学研究。目前提出的模型众多,但真正能达到上述几个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、实用化。

b) 拓扑关系表达的时空数据模型研究。基于栅格表达的模型无法描述地理实体间的拓扑关系,而基于对象的模型虽然可以存储拓扑关系,但目前的模型很少对拓扑关系进行显式存储,对时空拓扑的关系操作需要进行复杂的运算,这需要浪费很多的时间且降低了系统的性能。因此对拓扑关系进行显式存储有利于提高系统的拓扑查询、分析性能。

c) 基于状态—事件的时空模型研究。状态与事件是时态地理信息系统的一对基本概念,目前时空数据模型研究侧重于将两个概念相分离,表现为基于状态模型和基于事件模型。有学者(如尹章才和李霖)意识到把事件和状态结合起来对时空地理现象进行建模,并提出了一个基于状态—事件的抽象时空模型,并分析了该模型与其他几种模型之间的转换。但他们只是从宏观上给出了这种模型的思想,并未对数据的处理和操作等具体方面进行描述,也没有就事件、对象及事件与对象之间的关系进行描述。同时对状态和事件两者进行建模有利于兼顾两种模型的优点,使模型的语义更丰富。

d) 离散变化和连续变化的统一。因为客观世界地理现象的变化既有如土地变更的离散变化,也有海岸线的变迁、森林覆盖区域变化之类的连续变化。目前的时空模型主要都在模拟离散变化,不能处理连续变化,因此研究既能处理离散变化又能处理连续变化的统一时空模型是未来的一个研究方向。

e) 多粒度时空数据模型的研究。时空数据表达、时空数据分析利用和时空推理等可能需要多粒度支持,同时多粒度支持可以根据应用需求来对时空数据按照不同的单位进行存储,为对可能从多来源获取的大量数据进行分析提供一个很重要的功能。例如土地抵押或出租可能按天进行登记;土地利用动态变化一般每年进行一次调查,初始土地登记可能每十年一次;而变更土地登记则可能要按天或月来进行。在犯罪分析应用中,不同的时间粒度和空间粒度都可能需要。目前时态数据库中时间多粒度和空间数据库中空间多尺度问题都研究得较多,但在时空数据库中把两者结合起来研究的却不多,因此数据模型的时空多粒度要求是一个完整 TGIS 应用的重要方面之一。

f) 抽象的通用化时空数据模型研究。目前的时空模型大多是针对具体应用的,而通用的模型则不多,特别是可操作的更少。而在通用模型之上建立具体应用模型会有更高的效率。因此研究抽象的通用化时空数据模型是一个发展趋势。

另外,既适合于矢量表达又要适合于栅格表达的矢栅一体化模型、可视化建模方法和工具也是值得研究的方向。

#### 4 结束语

本文首先对目前的一些主要的时空模型和方法进行了分类与回顾,对比并分析总结了这些模型的优缺点,探讨了未来时空模型的进一步研究发展方向。总的来说,时空数据模型作为时态 GIS 的基础问题,在未来一段时间内依旧是研究的热点和难点。

参考文献:

- [ 1 ] ANGRAN G. A framework for temporal geographic information systems[ J ] . Cartographica, 1988, 25( 3 ) : 1-14.
- [ 2 ] LANGRAN G. Time in geographic information systems[ M ] . London: Taylor & Francis, 1992.
- [ 3 ] WORBOYS M F. A model for spatio-temporal information[ C ] //Proc of the 5th International Symposium on Spatial Data Handling. Charleston: IGU Commission on GIS, 1992: 602-611.
- [ 4 ] WORBOYS M F. A unified model for spatial and temporal information [ J ] . The Computer Journal, 1994, 37( 1 ) : 26-34.
- [ 5 ] PEUQUET D, DONNA 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( 3 ) : 441-461.
- [ 6 ] PEUQUET D. Representations of space and time[ M ] . New York: Guilford Press, 2002.
- [ 7 ] YUAN M. Representation of wildfire in geographic information systems[ D ] . Buffalo: Department of Geography, State University of New York, 1994.
- [ 8 ] YUAN M. Modeling semantical, temporal, and spatial information in geographic information systems[ C ] //Proc of Geographic Information Research: Bridging the Atlantic. London: Taylor & Francis, 1996: 334-337.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] RAZA A, KAINZ W. Cell tuple based spatio-temporal data model: an object oriented approach[ C ] //Proc of the 7th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems. New York: ACM Press, 1999: 20-25.
- [ 11 ] 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.
- [ 12 ] 姜晓轶.基于 OpenGIS 简单要素规范的面向对象时空数据模型研究[ D ] .上海:华东师范大学,2006.
- [ 13 ] 宋玮.时空数据模型及其在土地管理中的应用研究[ D ] .郑州:中国人民解放军信息工程大学,2005.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] 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.
- [ 16 ] USERY E L. A feature-based geographic information system model [ J ] . Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1996, 62( 7 ) : 833-838.
- [ 17 ] LE Yan-fen. A feature-based temporal representation and its implementation with object-relational schema for base geographic data in object-based form[ R ] . [ S. l. ] : UCGIS Assembly, 2004.
- [ 18 ] 陆锋,李小娟,周成虎,等.基于特征的时空数据模型:研究进展与问题探讨[ J ] .中国图象图形学报,2001,6( 9 ) : 830-835.
- [ 19 ] 李小娟,尹连旺,崔伟宏.土地利用动态监测中的时空数据模型研究[ J ] .遥感学报,2002,6( 5 ) : 370-375.
- [ 20 ] 柯丽娜,刘登忠,刘海军.基于特征的时空数据模型用于地籍变更的探讨[ J ] .测绘科学,2003,28( 4 ) : 58-61.
- [ 21 ] 尹章才. GIS 中基于特征的数据模型[ J ] .国土资源科技管理, 2002, 19( 2 ) : 50-53.
- [ 22 ] PEUQUET D J, DUAN N. An event-based spatio-temporal data model for geographic information systems[ J ] . International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9( 1 ) : 7-24.
- [ 23 ] 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.

## 序集

$$(A_2, <) = \{64 < - 64 < 23 < - 23 < 35 < - 35 < 43 < - 43 < \dots\}$$

在算法 1 中, 得到  $G_n/A_2$  的第一条最长 (长度为 31) 的  $A_2$  色链是  $64 < - 64 < - 23 < 33 < - 33 < - 48 < - 69 < - 70 < - 94 < - 22 < 18 < - 18 < - 26 < - 28 < - 44 < - 46 < - 59 < - 77 < - 90 < - 92 < - 110 < - 8 < - 15 < - 24 < 66 < - 66 < - 11 < - 79 < 20 < 2 < - 2 < - 13$ , 并且没有更长的  $A_2$  色链。故有  $\max\{l_2(a) \mid a \in S_2\} = 31$ 。据引理 5 得  $[A_2] = 32$ ; 据引理 3 得  $k_2 = [G_n(S_2)] = 33$ ; 据引理 1 得  $R(3, 34) = 223$ 。

b) 取整数  $n = 236$ , 则  $m = 118$ 。给定参数集  $S_1 = \{9, 11, 28, 64, 65, 71, 72, 77, 79, 84, 96, 98, 103, 111, 113, 115, 117, 118\}$ 。在算法 1 中, 对于任意  $x \in S_1$ , 恒有  $d_1(x) = 0$ 。据引理 4 有  $[A_1] = 1$ 。令  $S_2 = S - S_1$ ,  $A_2 = \{x \mid |x| \in S_2\}$ , 据定义 2 得全序集

$$(A_2, <) = \{30 < - 30 < 78 < - 78 < 3 < - 3 < 16 < - 16 < \dots\}$$

在算法 1 中, 得到  $G_n/A_2$  的第一条最长 (长度为 32) 的  $A_2$  色链是  $30 < 3 < - 3 < - 58 < 24 < - 24 < 90 < - 90 < 22 < 1 < - 1 < - 32 < 36 < - 38 < 51 < - 51 < 105 < 92 < - 92 < 5 < - 5 < 17 < - 17 < 37 < - 37 < 49 < 44 < - 44 < - 39 < - 107 < 56 < - 56 < - 7 < - 2$ , 并且没有更长的  $A_2$  色链。故有  $\max\{l_2(a) \mid a \in S_2\} = 33$ 。据引理 5 得  $[A_2] = 34$ ; 据引理 3 得  $k_2 = [G_n(S_2)] = 35$ ; 据引理 1 得  $R(3, 36) = 237$ 。

c) 取整数  $n = 253$ , 则  $m = 126$ 。给定参数集  $S_1 = \{8, 42, 44, 46, 65, 68, 75, 97, 99, 100, 102, 104, 106, 115, 116, 122, 125, 126\}$ 。在算法 1 中, 对于任意  $x \in S_1$ , 恒有  $d_1(x) = 0$ , 据引理 4 有  $[A_1] = 1$ 。令  $S_2 = S - S_1$ ,  $A_2 = \{x \mid |x| \in S_2\}$ , 据定义 2 得全序集

$$(A_2, <) = \{14 < - 14 < 77 < - 77 < 17 < - 17 < 30 < - 30 < \dots\}$$

在算法 1 中, 得到  $G_n/A_2$  的第一条最长 (长度为 32) 的  $A_2$  色链是  $14 < - 14 < - 43 < 67 < - 98 < 121 < 45 < 13 < - 15 < - 18 < - 40 < 48 < 69 < 70 < 11 < 12 < - 12 < - 19 < 36 < - 72 < - 73 < - 76 < 9 < - 9 < - 21 < - 41 < 7 < 10 < - 24 < 38 < - 38 < - 3 < 16 < - 25 < - 50 < - 2$ , 并且没有更长的  $A_2$  色链。故有  $\max\{L_2(a) \mid a \in S_2\} = 35$ 。据引理 5 得  $[A_2] = 36$ ; 据引理 3 得  $k_2 = [G_n(S_2)] = 37$ ; 据引理 1 得  $R(3, 38) = 254$ 。

254。

本文在 CPU 为 AMD 3500 + 的计算机上完成上述运算约为 36 h。

## 参考文献:

- [1] 李乔. 组合数学基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.
- [2] RADZISZOWSKI S P. Small Ramsey numbers[J]. Electronic Journal of Combinatorics, Dynamic Survey, 1994, DS1(11): 1-36.
- [3] 苏文龙, 罗海鹏, 李乔. 多色经典 Ramsey 数  $R(q, q, \dots, q)$  的下界[J]. 中国科学 A 辑, 1999, 29(5): 408-413.
- [4] 苏文龙, 罗海鹏, 李乔. 经典 Ramsey 数  $R(4, 12)$ ,  $R(5, 11)$  和  $R(5, 12)$  的新下界[J]. 科学通报, 1997, 42(22): 2460.
- [5] 罗海鹏, 苏文龙, 李乔. 经典 Ramsey 数  $R(6, 12)$ ,  $R(6, 14)$  和  $R(6, 15)$  的新下界[J]. 科学通报, 1998, 43(12): 1336-1337.
- [6] 苏文龙, 罗海鹏, 李乔. 7 个经典 Ramsey 数  $R(k, l)$  的新下界[J]. 系统科学与数学, 2000, 20(1): 55-57.
- [7] SU Wen-long, LUO Hai-peng, ZHANG Zheng-you, et al. New lower bounds of fifteen classical Ramsey numbers[J]. Australasian Journal of Combinatorics, 1999, 19: 91-99.
- [8] SU Wen-long, LUO Hai-peng, SHEN Yun-qiu. New lower bounds for classical Ramsey numbers  $R(5, 13)$  and  $R(5, 14)$  [J]. Applied Mathematics Letters, 1999, 12(6): 121-122.
- [9] LUO Hai-peng, SU Wen-long, SHEN Yun-qiu. New lower bounds of ten classical Ramsey numbers[J]. Australasian Journal of Combinatorics, 2001, 24: 81-90.
- [10] LUO Hai-peng, SU Wen-long, LI Zhen-chong. The properties of self-complementary graphs and new lower bounds for diagonal Ramsey numbers[J]. Australasian Journal of Combinatorics, 2002, 25: 103-116.
- [11] SU Wen-long, LI Qiao, LUO Hai-peng, et al. Lower bounds of Ramsey numbers based on cubic residues[J]. Discrete Mathematics, 2002, 250(1): 197-209.
- [12] LI Gui-qing, SU Wen-long, LUO Hai-peng. Edge colorings of the complete graph  $K_{149}$  and the lower bounds of three Ramsey numbers [J]. Discrete Applied Mathematics, 2003, 126(2-3): 167-179.
- [13] LUO Hai-peng, SU Wen-long, SHEN Yun-qiu. New lower bounds for two multicolor classical Ramsey numbers[J]. Radovi, 2004, 13: 15-21.
- [14] HEN Jun, JIANG Jie. Event-based spatio-temporal database design [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1998, 32(4): 105-109.
- [15] 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.
- [16] WORBOYS M F. Event-oriented approaches to geographic phenomena [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2005, 19(1): 1-28.
- [17] WORBOYS M F, HORNSBY K. From objects to events: GEM, the geospatial event model[C] //Proc of the 3rd International Conference on GIScience. Berlin: Springer, 2004: 327-343.
- [18] CHENG Tao, MOLENAAR M. A process-oriented spatio-temporal data model to support physical environmental modelling[C] //Proc of the 8th International Symposium on Spatial Data Handling. 1998: 418-430.
- [19] CLARAMUNT C, THERIAULT M. Toward semantics for modeling spatio-temporal processes within GIS [C] //Proc of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling. Netherlands: [s. n.], 1996: 47-63.
- [20] IKEZAKI M, MUKAI N, WATANABE T, et al. Event-based specification for controlling spatio-temporal changes of geographic situation [C] //Proc of the 21st International Conference on Data Engineering Workshops. 2005: 1249.
- [21] WANG Shuo, NAKAYAMA K. An event-based spatio-temporal approach[J]. ECTI Trans on Computer and Information Theory, 2005, 1(1): 15-23.
- [22] COLE S, HORNSBY K. Modeling noteworthy events in a geospatial domain[C] //Proc of the 1st International Conference on Geospatial Semantics. Berlin: Springer, 2005: 77-89.
- [23] CHEN Jun, JIANG Jie. An event-based approach to spatio-temporal data modeling in land subdivision systems [J]. Geoinformatica, 2000, 4(4): 387-402.

(上接第 1284 页)