

# 改进基于事件的时空数据模型

牛方曲<sup>1</sup>, 朱德海<sup>1</sup>, 程昌秀<sup>2</sup>

(1 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京; 2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京)

摘要: 本文回顾了基于状态的时空数据模型和基于事件的时空数据模型。为了完整记录下时空的变化过程, 有利于时空过程的查询, 论文针对栅格数据提出了一种改进基于事件的时空数据模型。该模型完整地记录下地理现象的变化过程, 并将地图数据的当前状态作为基图。由于大多应用中对现状图调用的最多, 所以将现状图作为基图改进了系统的运行效率。最后, 为了体现模型查询变化信息的优势, 文章分析了一些时空查询实例。

关键词: 时空数据模型; 改进基于事件的时空数据模型; 时态地理信息系统

## 1 引言

传统的地理信息系统(Geographical Information System, GIS)处理的只是世界的当前状态, 或某一历史快照, 没有记录数据随时间的动态变化, 无法进行时序分析、处理时态现象。而能进行完善的时序分析、高效地回答与时间相关的各类问题, 在时间和空间两方面全面处理的地理信息系统称为时态地理信息系统(Temporal Geographical Information System, TGIS)(吴信才, 2002)。TGIS的发展依赖于成熟的时空数据模型的发展。自Langran于1992年提出TGIS概念以来, (Langran, 1992) 国内外学者对TGIS做了深入研究, 提出了大量的时空数据模型。由于传统GIS在时态扩展上的复杂性和局限性, 导致时空数据模型的物理实现十分困难, 所以目前应用平台很少。

本文在总结以往的时空数据模型的基础上提出了改进基于事件时空数据模型。该模型明确记录了事件的变化过程地图的当前状态。

## 2 时空数据模型的分析

事物在时间维上的发展变化可以看作是从一个状态到另一状态的不断变迁过程。而每一次变迁过程称作一个事件。所以事物在其生命期的变化是

由一个状态通过事件变化到另一状态的发展过程。地图数据的变化也是如此, 因此可以将时空数据模型按照其侧重点不同将其分为基于事件的时空数据模型和基于状态的时空数据模型两类。

### 2.1 基于状态的时空数据模型

基于状态的时空数据模型侧重于对地理现象的各阶段状态的记录, 该类模型中最具代表性的是序列快照模型。序列快照模型用一系列地图状态对应的地理数据来反映地理现象的时空演化过程。如遥感图像的数据采集方式即属于序列快照模型(黄杏元, 2001)。由于模型记录的是整个地图不同时刻的快照, 所以结构简单, 易于实现。但是模型数据冗余量大, 并且对于变化的描述是隐式的, 没有描述地理现象在时间上的拓扑关系。同时该模型没有查错能力, 难以保证数据的一致性(王晓栋, 2003)。

### 2.2 基于事件的时空数据模型

也叫做底图叠加模型或基态修正模型等。基于事件的时空数据模型侧重于对事件的记录, 其思想是记录下地图的初始状态, 称为底图, 同时沿时间轴记录下各时刻发生的事件, 包括事件对底图所做的修改。通过底图和事件之间的叠加, 可以复原任意历史时刻的快照。该模型明确记录底图和各事件中地图的变化, 为时态拓扑查询提供了支持。从“时空信息表达能力”和“实现的可能性”来看, 基于事

收稿日期: 2005-09-06; 修回日期: 2006-01-16.

资助项目: 本论文受国家自然科学基金项目支持(项目编号: 40401047)。

作者简介: 牛方曲, 博士, 北京, 中国农业大学信息与电气工程学院, 从事GIS数据库方面的研究。Email: niufq@reis.ac.cn

件的时空数据模型是较为理想的模型 [程昌秀等, 2003]。有代表性的模型有基于事件时空数据模型 [Peuquet 等, 1995], 时空复合模型 [Langran, 1992] 等。

对于时空立方体模型 (May, 2004)、面向对象时空数据模型等, 笔者认为是从地理现象的描述方法上给出的概念, 可根据其具体实现模型的侧重点将其分类。另外还有其他各时空数据模型, 这里不再列出。

### 3 改进基于事件的时空数据模型

Peuquet 在 1995 年就栅格数据提出一种基于事件的时空数据模型 (ESTDM), 见图 1。

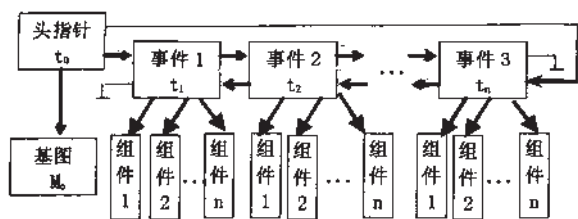


图 1 基于事件时空数据模型 (Peuquet 等, 1995)

Fig.1 An event-based spatio-temporal data model

该模型完整存储栅格底图。将各时刻所做的修改认为是一次事件的发生, 并将事件发生的时间和所做的变化做详细记录。记录下发生变化的位置和该位置变化后的值。如图 1, 假设地图的某一状态持续时间为  $[T_n, T_{n+1})$ , 即在  $T_{n+1}$  时刻发生的事件改变了地图的状态, 使地图处于了新的状态。则有  $T_{n+1}$  时刻的地图 =  $T_n$  时刻地图 +  $T_{n+1}$  事件所做的变化, 因此, 如果要获得  $T_{n+1}$  时刻地图, 首先需要获取  $T_n$  时刻的地图。这样在载入最新的地图数据, 需要读取基图数据, 并且回顾历次事件所做的修改。随着时间的推移, 事件记录逐渐增多, 载入当前地图数据会变得越来越复杂, 严重影响系统效率。而且在应用系统中, 调用频率较高的是现状数据 [程昌秀, 2003]。

另外, 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。所以模型记录的是基图和在各个时刻 (time-stamp) 部分区域 (变化区域) 的快照。因而可以认为该模型是序列快照模型的进一步演化。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。

鉴于以上讨论, 为了提高系统的运行效率, 便于时空过程查询, 这里提出改进基于事件的时空数据模型, 简称改进模型。本模型与基于事件的时空数据模型不同之处在于, 其基图是现状数据, 即完整地记录了空间数据的现状, 并且记录了事件的变化过程。既记录了事件中各位置变化后的状态, 同时又记录了该位置在事件发生前的状态。方便时态拓扑查询和各区域的历史追溯。

改进基于事件时空数据模型如图 2 所示。Ti 为沿时间轴事件发生的时间, Ci 为 Ti 时刻地图所发生的变化 (changes)。

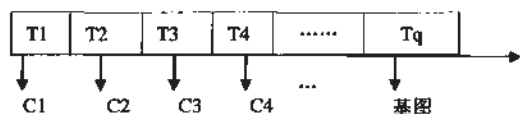


图 2 改进基于事件时空数据模型示意图

Fig.2 The overview of the improved event-based spatio-temporal data model

改进模型将发生变化的所有区域按其变化前的值进行分组, 每一组我们将其称为一个组件。假设  $T_i$  事件对地图数据的修改如图 3 所示。发生变化的位置, 在变化前的数据为 12, 20, 30。不论这些位置被修改为何值, 这里只需要按照 12, 20, 30 将这些位置 (location) 归为三组, 见图 3-a。这些位置变化后的值有 4, 5, 6, 21, 见图 3-b。

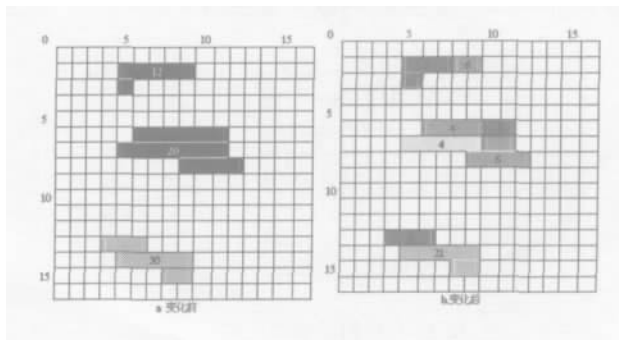


图 3  $T_i$  事件对地图状态的改变

Fig.3 Changes of the map by event  $T_i$

图 3 显示了  $T_i$  时刻地图数据变化前后的状态。改进基于事件的时空数据模型对  $T_i$  事件的记录就是要体现这个变化过程。根据图 3 所示地图的变化情况,  $T_i$  事件中所做的变化  $C_i$  描述如图 4。

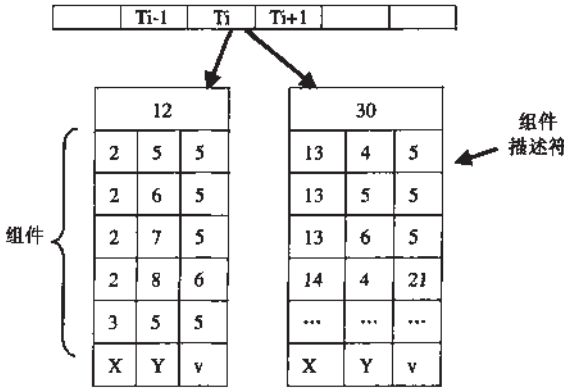


图4 事件的组件描述图  
Fig.4 Components of every event

每一个  $C_i$  是由若干个组件组成。每个组件由一个组件描述符和一组  $x,y,v$  三元组组成。其中组件描述符 (12,30) 是变化前的值,  $x, y$  为坐标对,  $v$  是  $(x,y)$  位置在变化后的状态(数值)。通过这种方式可以清楚地记录下每一事件所做的改变。

改进基于事件时空数据模型也存在数据冗余。该模型完整地存储了变化区域对应的所有三元组  $(x,y,v)$ 。显然如果变化区域面积较大, 而且变化后的数值不多, 模型的冗余度就会增加。因此, 我们进一步修改数据模型, 以减少数据冗余。可以将坐标对按照其对应数值进行分组, 即将所有属于同一数值的坐标对归为一组。这样每一事件中, 每个变化后的新值只需要存储一次。同时, 对于位置  $(x,y)$  的存储, 可以采用游程码的方式, 进一步节省存储空间 [Peuquet, 1995]。修改后的模型如图 5 所示。

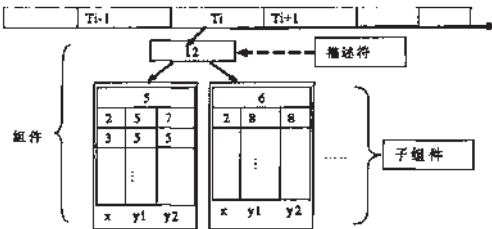


图5 组件的详细描述图  
Fig.5 Details of a component

由以上讨论, 改进的基于事件时空数据模型的事件由时间 ( $T_i$ ) 和发生的变化 ( $C_i$ ) 组成。而变化 ( $C_i$ ) 由一个或多个组件组成, 每个组件是由一个组件描述符和一个或多个子组件组成, 每个子组件又是由一个子组件描述符和一组游程码组成。例如图中

5, 12 为组件描述符, 也是变化区域在变化前的数值之一, 而 5,6 分别是两个子组件的描述符, 同时也是变化区域在变化后的值。子组件中, 列  $x$  是变化区域的行号,  $y_1, y_2$  分别是  $x$  行中连续变化区域的起止列号, 同时要求连续变化区域变化前后值分别为组件和子组件描述符。见图 5,  $x, y_1, y_2$  分别为 2, 5, 7, 表示第二行中从第五列到第七列这一区域在  $T_i$  事件中由 12 变成了 5。组件个数决定于变化区域变化前的数值的个数, 而子组件的数量由变化区域在变化前后的数值个数共同决定。如, 在  $T_i$  时刻, 变化区域在变化前有 3 个值, 12, 20, 30, 则  $T_i$  事件有 3 个组件, 同时在变化后有 4 个值: 4, 5, 6, 21, 一共有 7 个子组件, 见图 3-b。当然这些子组件分属不同的组件。

### 4 改进基于事件的时空数据模型数据结构

根据以上讨论, 改进基于事件的时空数据模型应包括一个头, 一幅代表研究区域当前状态的基图, 事件列表, 以及与事件相对应的由子组件组成的组件(见图 6)。

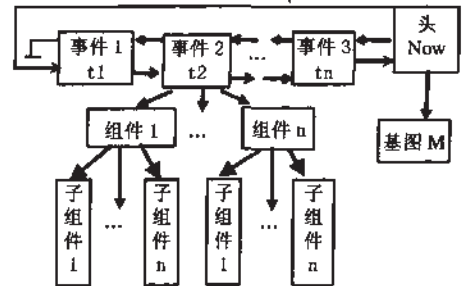


图6 改进基于事件时空数据模型  
Fig.6 The improved event-based spatio-temporal data model

其中头部分包括基图名称和指向基图的指针和 [Peuquet, 1995], 同时还包含分别指向最后事件和第一个事件的两指针。由于改进模型中基图是现状图, 隐含时间为现在, 所以可不记录该时间。事件列表采用双向链表的方式。即每一个事件包括两个指针  $prev, next$ 。Prev 指针指向前一事件,  $next$  指向后一事件。第一个事件的  $prev$  指针赋值为 NULL, 最后一事件的  $next$  指向头。双向指针可以实现双向搜索。每个事件还包含有指向组件的指针。每个组件包含有指向子组件的指针。

随着时间的推移, 研究区域会发生新的变化, 即有新的事件的发生。改进模型记录新事件过程需要 4 步:

(1) 修改事件列表, 将最后一事件的 next 指针指向新事件;

(2) 修改新事件的 prev, next 指针, 使其分别指向事件列表中最后一事件和头对象;

(3) 修改头对象的 e\_last 指针, 使其指向新事件(最后一个事件);

(4) 根据变化内容修改现状图, 即更新基图。

改进之后的模型的基图是现状图, 所以在每次事件之后都要根据事件所做的变化对基图进行更新。基图是最后一次更新之后的状态, 默认对应时间为当前, 所以这里没有明确记录其时间。

时空数据模型应具备时空快照复原的功能。改进基于事件时空数据模型的基图是研究区域的现状图, 所以可以从现状图开始, 逆着时间轴, 复原任意历史快照。假设已知  $T_i$  事件变化后的快照。由于事件的各组件的描述符就是变化区域在变化前的状态, 所以只需要利用这些描述符更新变化后快照即可得到  $T_i$  事件变化前的历史状态, 也就是  $T_i-1$  时刻的快照。同样的道理, 由于子组件的描述符是变化区域在变化后的状态, 如果已经得到  $T_i$  事件变化前的地图快照, 可以用  $T_i$  事件的子组件描述符更新地图快照得到变化后的地图状态。所以改进模型可以在时间轴的正反两个方向进行快照复原。

## 5 改进基于事件时空数据模型的功能分析

### 5.1 时态查询功能

改进基于事件时空数据模型为各种要求的查询提示了可能, 下面给出有代表性的关于事件过程的查询:

(1)  $T_i$  时刻, 某位置由什么值变化到了什么值: 这一查询体现了对时空过程的检索。该检索首先需要在事件列表中查询到相应事件, 事件的查询根据时间就近原则。即所有事件中, 取发生时间与  $T_i$  时刻间隔最短的(下同)。这一查询需要遍历所有子组件的游程码, 找到指定位置所在的子组件, 这样该子组件的描述符和子组件所在的组件的描述符分别为该位置变化后的值和变化前的值。

(2)  $T_i$  事件中, 变化前值为  $x$  的所有区域: 这一查询涉及到变化前的值, 不考虑变化后的值。所以首先根据事件列表, 查询出相应的事件。将组件的描述符与  $x$  值进行比较, 找到描述符为  $x$  的组件, 该组件对应的变化区域, 即该组件中所有子组件的游程码对应区域为查询结果。

(3)  $T_i$  时刻, 由值  $x_1$  变化到  $x_2$  的所有区域: 该查询指定变化前后值。检索的第一阶段同样需要对事件进行定位, 即在事件列表中查询出事件。第二阶段是定位该事件下的组件, 完成这一阶段只需将  $x_1$  与各组件的描述符进行比较即可。即找出描述符为  $x_1$  的组件。第三阶段是将第二阶段查询出的组件下的所有子组件的描述符与  $x_2$  进行比较, 找出描述符为  $x_2$  的子组件, 该子组件中所有游程码对应的区域即为所要查询的区域。

### 5.2 存储效率

改进基于事件时空数据模型, 由于记录了变化位置在变化前后的值, 所以相对于 ESTDM(只记录每次事件中变化区域在变化后的状态), 其存储空间要求更大。序列快照模型是在每一次事件之后(或按一定时间间隔)完整存储整个地图数据, 造成了存储空间的浪费, 而这里提出的改进时空数据模型只是对变化区域的变化过程进行存储, 其在存储空间上是否节省还要视情况而定。

假如变化区域很大, 设想为整个研究区域, 则改进时空数据模型在每次事件的记录中, 需要记录下变化前的值和变化后的值, 这样无疑是记录了研究区域每次变化前后两幅完整快照, 需要大量存储空间。

另外, 改进时空数据模型的搜索效率决定于组件和子组件的多少。各事件中, 组件与子组件的多少决定于变化前后不同数值的多少, 即决定于组件和子组件描述符的多少。如果变化区域在变化前各单元格数值与其他单元格都不同, 变化后也是同样情况, 这样事件中就会有太多的组件, 给检索带来不便, 影响检索效率。而且这种情况下, 无法利用游程码进行压缩存储, 需要大量的存储空间。即使是序列快照模型, 也有这一问题。

综上, 改进基于事件时空数据模型明确记录了每次事件的变化过程, 为时空查询提供了方便。同时其需要更多的存储空间。如果每次事件中变化区域相对较小, 则更宜使用该模型。

## 6 结论与展望

本文提出了改进的基于事件时空数据模型。该模型明确记录事件的变化过程,有利于时态拓扑查询。同时模型的基图为研究区域的当前状态。很多系统中,现状数据使用最为频繁,所以该模型改进了系统的运行效率。

本文基于栅格数据给出模型的具体数据结构,但是在矢量数据格式的应用上还有待进一步研究。因为栅格数据是基于位置的,而矢量数据是基于实体的,而实体属性变化的同时,其空间坐标也可能改变,所以更为复杂。如何将矢量和栅格数据统一于改进模型中,有待进一步研究。

### 参考文献

[1] 吴信才,曹志月. 时态 GIS 的基本概念、功能及实现方法.

地球科学--中国地质大学学报, 2002, 27(3): 241~245.

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

[3] 黄杏元等. 地理信息系统概论. 北京: 高等教育出版社, 2001.

[4] 王晓栋. 基于时空地理实体的综合时空数据模型研究及其在县级土地利用动态监测中的应用(博士论文), 2003.

[5] 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. 中国图象图形学报, 2003, 8(6): 697~702.

[6] Peuquet D J, Duan N. An event-based spatio-temporal Data Model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data. International Journal of Geographical Information System, 1995(9): 7~24.

[7] May Yuan. Temporal GIS and Spatio-temporal Modeling. [http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA\\_FE\\_CD-ROM/sf\\_papers/yuan\\_may/may.html](http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/yuan_may/may.html) 2005.

## The Improved Event-based Spatio-temporal Data Model

NIU Fangqu<sup>1</sup>, ZHU Dehai<sup>1</sup>, CHENG Changxiu<sup>2</sup>

(1 College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University (CAU), Beijing 100094, China;

2 LREIS, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** This paper reviewed the state-based spatio-temporal data model and the event-based spatio-temporal data model. The state-based spatio-temporal data model doesn't explicitly describe the change procedures of the map, and so does the event-based data model proposed before. To fully record the procedures of the spatio-temporal change and make it easy to query the spatio-temporal change information, an improved event-based spatio-temporal data model based on raster data was proposed here. In this improved model, the changes of the phenomena were fully recorded, and the present state of the map was set as the base map. In many applications, users fetch the present state of the map more frequently, so the improved model would make the system more efficient. In order to show its advantages that it is easy to get the changed information, this paper gave some spatio-temporal query cases. These cases illuminated clearly how to query what happened to the map at any time, such as: what event happened at a location; where did an event happen, etc. Also, this paper discussed the storage efficiency of the data model. And as a conclusion, it was suggested that the model is more suited for some conditions.

**Key words:** spatio-temporal data model (STDM); improved event-based spatio-temporal data model (IESTDM); TGIS