

对象关系型 GIS 中改进基态 修正时空数据模型的实现

程昌秀 周成虎 陆 锋

(中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要 通过对几种典型时空数据模型特性的分析, 提出了一种改进的基态修正模型. 此模型以空间数据的现状作为基态, 从而避免了系统频繁载入现状数据的开销; 同时, 在对象关系型 GIS 的支持下, 该模型利用关系运算来实现“非起始”状态的随机整合, 因而提高了系统的执行效率. 最后还从“时空快照恢复”、“时态拓扑分析”和“空间对象的历史沿革”等 3 个方面阐述了此模型在对象关系型 GIS 中的实现方法, 并以大兴县的村边界变更为例给出了所提出模型在 GeoMedia 3.0 环境中的具体应用过程. 经验证, 此模型在对象关系型 GIS 中是一种较为实用的模型.

关键词 地理信息系统(320·3040) 对象关系型 GIS 时空数据模型 改进基态修正模型

中图法分类号: P208 TP311.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)06-0697-06

The Improved Base State with Amendments Spatio-temporal Model in the Object-relation GIS

CHENG Chang-xiu, ZHOU Cheng-hu, LU Feng

(LREIS, Institute of Geography and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

Abstract It is difficult to neatly realize spatio-temporal expression in traditional georelational data model for its complex organizing and storing on spatial data. But object-relationship GIS simplify its complexity. Based on object-relationship GIS, this paper puts forward the improved base state with amendments model, after analyzing some typical spatio-temporal data model. This model takes the current state as base, and records the spatial objects' change procedure. All changes are reduced to "add" and "delete". Because taking the current state as base, it could avoid the spending for the frequently loading current map. Because its special method of recording change, it would randomly and rapidly generate spatial data of any past time on the support of SQL. In this paper, this model is also expatiated from three aspects: recovering snapshots, analyzing spatio-temporal topology and reasoning the change of spatial object. These techniques are realized in an instance about land use change under the support of GeoMedia 3.0. The successful test indicates that it is simple and facile to realize the improved base state with amendments model in object-relationship GIS.

Keywords Geographic information system, Object-relationship GIS, Spatio-temporal model, Improved base state with amendments model

0 引言

地理信息系统(GIS)是地理信息科学的重要技术支撑. 近 10 年来, 随着 GIS 应用领域的不断扩展和人类需求的不断增加, 时态 GIS(TGIS)越来越受到业界的关注, 不少学者对此进行了探索和研究, 提

出了多种不同的空数据模型. 由于传统 GIS 中空数据时态变化及时态拓扑信息组织与存取的复杂性和局限性, 导致时空数据模型的物理实现十分困难, 相关应用系统也很少见^[1]. 从总体上看, 时空数据模型研究目前主要还停留在理论研究阶段.

对象关系型 GIS 的出现, 简化了 GIS 数据存储的复杂性, 为时空数据模型的物理实现提供了技术

可能. 以这种数据管理方式为出发点, 通过总结、借鉴以往的时空数据模型思想, 本文提出了一种改进的基态修正模型.

1 TGIS 数据模型

1.1 序列快照模型(Sequent Snapshots)

序列快照模型是将一系列时间片段快照保存起来, 以反映整个空间特征的状态, 并根据需求对特定时间片段进行播放. 序列快照模型简单, 实现较为容易, 但是由于它将未发生变化的地物进行重复存储, 会产生大量数据冗余, 且当数据量较大时, 系统效率急剧下降^[2,3]. 另外, 序列快照模型对变化的表达效果不够直接, 要得到两个时刻状态的不同(即变化), 必须对两个快照进行彻底的比较.

1.2 基态修正模型(Base State with Amendments)

基态修正模型是 Pequet 和 Duan 于 1995 年提出的, 它只存储过去某个时刻的数据状态(基态)和相对于基态的一系列变化量^[4]. 对于每一次变化, 基态修正模型仅记录变化的增量, 因此数据冗余较少, 而且也能充分地表达地物的变化情况, 但是要获取“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, 这对于矢量模型而言, 效率较低.

1.3 空间-时间复合模型(Space-Time Composite)

空间-时间复合模型最初由 Chrisman 于 1983 年提出, Langran 和 Chrisman 于 1998 年对它进行了详细的描述. 它用带修正的基态作为建立累积几何变化的时空复合的出发点. 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——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^[5]. 空间-时间复合模型虽然保留了沿时间的空间拓扑关系, 但是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, 因此必须对标注逐一进行回退修改.

1.4 空间-时间立方体模型(Space-time cube)

Hagerstrand 最早于 1970 年提出了空间-时间立方体模型. 这个三维立方体由两个空间维和一个时间维组成, 可用于描述二维空间沿时间维演变的过程^[2,3]. 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, 其虽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^[2].

以上几种数据模型各有优缺点, 但从“时空信息表达能力”和“实现的可能性”来看, 基态修正模型将是一种较好的模型^[4-8]. Pequet 基于基态修正模型开发了基于事件的时空数据模型(ESTDM), 取得了较好的效果.

2 改进基态修正时空数据模型

基态修正模型具有数据冗余少、表达地物变化充分、易于实现等优点, 但是在载入“非起始”状态的矢量数据时, 需要顺序进行数据叠加操作来整合出一套完整的空间数据(见图 1)^[4]. 这种顺序操作如同访问磁带等顺序存储介质一样, 要想得到某块信息就必须顺序地读完它之前的每块信息, 故每一次“非起始”状态数据的整合都要重复地回顾在此之前的一系列变化, 而且, 在应用系统中调用频率较高的还是现状数据, 因此, 此模型严重地影响了系统的执行效率.

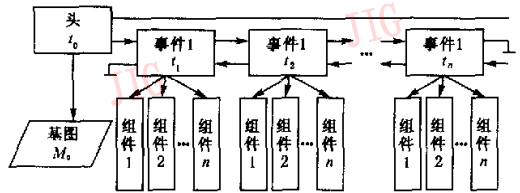


图 1 基于事件的基态修正时空数据模型(ESTDM)示意图

为了提高时空数据模型的执行效率, 提出了一种改进基态修正时空数据模型. 此模型与基态修正模型的不同之处在于: 它所存储的基态不是过去某个时刻的数据状态, 而是空间数据的现状(如图 2 所示). 因此, 它避免了系统频繁载入现状数据的开销. 同时, 在对象关系型 GIS 的支持下, 此模型将实现“非起始”状态的随机整合, 即无需顺序回顾在此之前的一系列变化, 而是直接定位、整合此时此刻的空间数据.

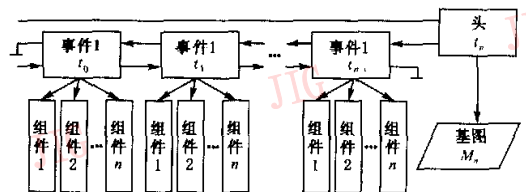


图 2 基于事件的改进基态修正时空数据模型

3 改进的时空数据模型在对象关系型 GIS 中的实现

对象关系型 GIS 是在面向对象数据库管理系统尚不成熟的情况下产生的,如:GeoMedia、Arc/Info 8 的 Geodatabase 等。它们均采用商用关系数据库来管理空间数据,并将一个空间实体的信息存放在一个记录中,将几何信息存放在二进制字段中,而空间数据的拓扑关系则通过系统提供的中间件来动态生成和维护。由此可见,对象关系型 GIS 简化了空间数据存储与管理的复杂性。

3.1 改进基态修正模型在对象关系型 GIS 中的表达

对象关系型 GIS 中的改进基态修正模型的基本思想是:假设空间由若干空间对象组成,且任何时刻空间对象的变化,对系统而言都可视为“旧对象消亡和新对象产生”的过程。对于每一次时空对象的变化,其新旧对象的交替变化将基于事件逐一记入“历史集”中,而“现状集”则永远保存最新的空间状态;通过现状集和历史集的关系运算实现时空数据的查询、时序分析、时态拓扑等功能。这里需要指出:(1)为了准确地反映历史变化的情况,系统对于每一个曾经出现过的空间对象都有唯一的标识(ID);(2)空间对象的变化包括空间位置关系的变化,也包括属性的变化;(3)为了简化空间对象变化过程的记录方式,数据库将所有变化都视为“旧对象消亡和新对象产生”的过程。此过程的处理对用户可以是透明的。系统对象(用 ID 标识)与用户理解的对象并不一定相同,为了建立用户意义上的对象标识可以加入 Label。

基于以上认识,对现状集(C)和历史集(H)的定义如下:

现状集: $\{ID, Label, Object, \{A_1, A_2, \dots, A_n\}\}$

历史集: $\{Time, ID, Oper, Label, Object, \{A_1, A_2, \dots, A_n\}\}$

其中, ID 是面向系统的对象标识; Label 是面向用户的对象标识; Object 是空间对象位置的坐标集; A_i 是空间对象的第 i 个属性; Time 是开始发生变化时刻; Oper 标识变化的种类,为枚举型变量, A 表示新增, D 表示删除。以图 3 所示的变化为例,各时刻对应的现状集如表 1~4 所示,变化情况见表 5。在 T_3 时刻仅有现状集表 4 和历史集表 5,而表 1~3 为中间表,即变化过程中曾经存在的集合。表 1~5 中的

A_1 是属性字段,表示图斑是否有阴影,其中, 0 表示无阴影, 1 表示有阴影。

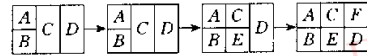


图 3 空间对象的变化过程

表 1 T_0 时刻的现状表

ID	Label	Object	A_1
1	A	BLOB	0
2	B	BLOB	0
3	C	BLOB	0
4	D	BLOB	0

表 2 T_1 时刻的现状表

ID	Label	Object	A_1
5	A	BLOB	0
6	B	BLOB	0
7	C	BLOB	0
4	D	BLOB	0

表 3 T_2 时刻的现状表

ID	Label	Object	A_1
5	A	BLOB	0
6	B	BLOB	0
8	C	BLOB	0
9	E	BLOB	0
4	D	BLOB	0

表 4 T_3 时刻的现状表

ID	Label	Object	A_1
5	A	BLOB	0
6	B	BLOB	0
8	C	BLOB	0
9	E	BLOB	0
10	F	BLOB	0
11	G	BLOB	1

表 5 变化历史表

Time	ID	Oper	Label	Object	A_1
T_1	1	D	A	BLOB	0
	2	D	B	BLOB	0
	3	D	C	BLOB	0
	5	A	A	BLOB	0
	6	A	B	BLOB	0
	7	A	C	BLOB	0
	T_2	7	D	C	BLOB
8		A	C	BLOB	0
9		A	E	BLOB	0
T_3	4	D	D	BLOB	0
	10	A	F	BLOB	0
	11	A	G	BLOB	1

注: BLOB(Binary Long Object Block)

3.2 时空快照恢复

现状集、历史集记录了当前存在或曾经存在的每一个空间对象,并对其状态、去向做了详细的记录。因此,通过现状集、历史集的某种关系运算便可生成一个集合,此集合将包含某时刻的所有空间对象。

假设当前时间为 T_i ,则在 T_i ($T_i \leq T_j$) 时刻存在的对象有两类:一是 T_i 时存在,并且不是 T_i 到 T_j 时段中产生的对象;二是在 T_i 到 T_j 中消亡,但又不是 T_i 到 T_j 时段中产生的对象,此集合可用下面关系运算表示

$$(C - \sigma_{Oper=A \text{ and } Time > T_i}(H)) \cup (\sigma_{Oper=D \text{ and } Time > T_i}(H) - \sigma_{Oper=A \text{ and } Time > T_i}(H)) \quad (1)$$

其中, C 表示现状集, H 表示历史集, $\sigma_X(Y)$ 表示在集合 Y 中选出满足条件 X 的集合, 它所对应的类 SQL 为

```
select ID, Object, Label, Oper from C where ID not in
(select ID from H where Oper=A and Time>Ti)
union
select ID, Object, Label, Oper from H where Oper=D and
Time>Ti and ID not in (select ID from H where Oper=A
and Time>Ti);
```

可见, 基于对象关系型 GIS 的改进基态修正模型由于通过集合间的关系运算实现了“非起始”状态的随机整合, 从而提高了系统的执行效率。

3.3 时态拓扑分析

时态拓扑关系是指在同一精度下, 空间对象生长期或事件存在时间上的先后关系。假设两空间对象分别用 $X[a, b]$ 和 $Y[c, d]$ 表示, 其中, a, c 为对象 X, Y 的起始时间, b, d 为对象 X, Y 的终止时间, 则其时态拓扑关系如表 6 所示。

表 6 时态拓扑关系

对象 1	时态拓扑	对象 2	关系表达式	关系示意
Y	Before	X	$d < a$	$c-d \quad a-b$
Y	Equ	X	$(a=c) \text{ and } (b=d)$	$a(c)-b(d)$
Y	Meets	X	$b=c$	$a-b \quad (c)-d$
Y	Overlaps	X	$(a < c) \text{ and } (b < d)$	$a-c-b-d$
Y	During	X	$(a < c) \text{ and } (b > d)$	$a-c-d-b$
Y	Starts	X	$(a=c) \text{ and } (b > d)$	$a(c)-d-b$
Y	Ends	X	$(a < c) \text{ and } (b=d)$	$a-c-d(b)$

以上 7 种关系, 除了 Equ(相等)关系外, 全是可逆的。因此总共可以有 13 种时态拓扑关系。有关的时态操作主要是对时段间这 13 种拓扑关系的判定。可见, 时态拓扑可用简单的数学比较和逻辑运算得到。如: 空间对象 7 和 9 之间的时态拓扑关系, 可根据如下逻辑得到

对象 7 存在的时段 $[T_1, T_2]$,
 对象 9 存在的时段 $[T_2, \text{Now}]$,
 则对象 9 Meets 对象 7。

若用户以 Label 作为对象标识, 则将如下逻辑中 ID 改为 Label 即可。

```
select * from H where ID=i order by Time, Oper desc
/* 求对象 i 存在的起止时间 */
if (第 1 条记录的 Oper=A)
  起始时间=第 1 条记录的 Time
else
  起始时间=T0
if (最后一条记录的 Oper=D)
```

终止时间=最后一条记录的 Time

else

终止时间=Now

3.4 空间对象历史沿革查询

历史集 H 记录了每一事件所导致空间对象的变动情况, 因此空间对象的历史沿革可通过对空间对象生死演变的追溯初步得到, 但是为了得到更准确、更详细的演变情况(如扩张、收缩、移动和再生等), 还要根据对象标识进行相应的空间位置关系及属性分析。如对于 C 图斑的历史沿革, 可以通过如下类 SQL 语句得到表 7 所示集合。

```
Select * from H where Label=C
order by Time, Oper desc
```

表 7 图斑 C 的历史沿革过程

Time	ID	Oper	Label	Object	A _i
T ₁	3	D	C	BLOB	0
	7	A	C	BLOB	0
T ₂	7	D	C	BLOB	0
	8	A	C	BLOB	0

顺次对各记录 Object 字段的空位位置做比较, 可得在 T_1 时刻, C 图斑缩小了, 在 T_2 时刻 C 图斑再次被缩小。

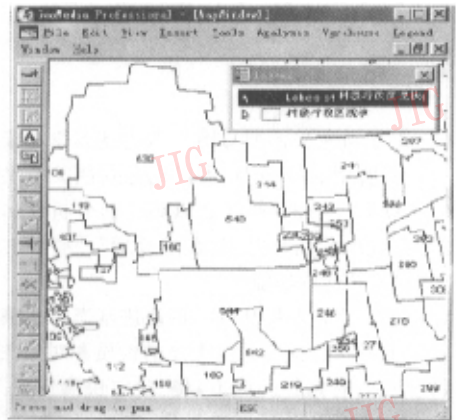
4 应用实例

在 GeoMedia 3.0 的支持下, 以大兴县村边界的数据为例, 针对上述技术路线做了以下试验。假设大兴县 1996 年的村界数据如图 4(a) 所示, 由图 4 可见, 自 1996 年底至今村界发生了一系列的变化, 如今村界现状如图 4(b) 所示, 其变化如下: 1997 年 6 月 19 日 128、131 号村合并为 539 号村, 539 号村沿用原 128 村的行政区名称、行政区编号等信息; 1997 年 10 月 8 日 169、207、200、186、197、195 号村合并为 540 号村; 1998 年 3 月 15 日因调整公共边界的位置, 206、540 号村消失, 生成了 541、542 号村; 1999 年 5 月 24 日又将 541 号村分割为 543 和 544 号村。

根据 3.1 节所述的方法记录好现状集和变化历史集后, 便可根据式(1)的关系运算得到各时刻存在的对象集(如图 5 所示), 其中图 5(a) 为 1997 年 10 月 8 日的村界数据, 图 5(b) 为 1998 年 3 月 15 日的村界数据。这里需要指出的是, 因 GeoMedia 不支持跨图层(表)的查询, 所以, 试验只能在数据库管理系统(本试验选用的是 Access 97)中将基于多表的

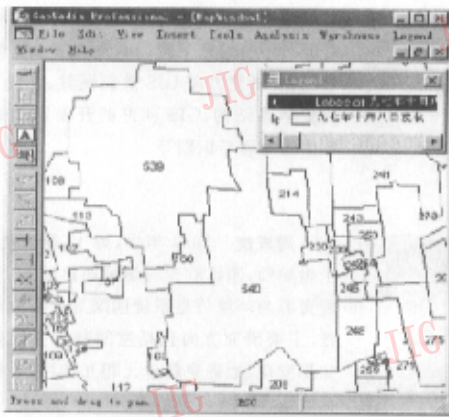


(a) 1996 年底的村界数据

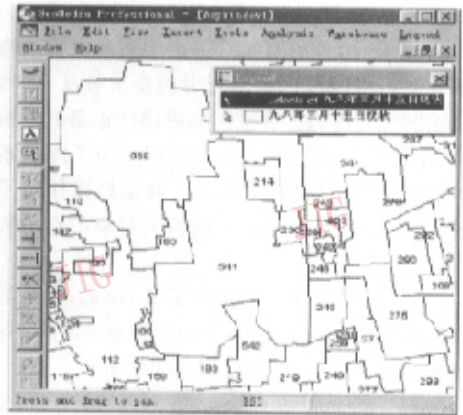


(b) 村界现状

图 4 某县 1996 年底与现在的村界数据(部分)



(a) 1997 年 10 月 8 日的村界数据(部分)



(b) 1998 年 3 月 15 日的村界数据(部分)

图 5 历史快照的恢复

SQL 语句查询结果生成临时图层(表)提交给 GeoMedia.

对于时态拓扑分析,则可根据 3.3 节中的类 SQL 语句和判断逻辑得到某村的存在时间段,再根据表 6 的逻辑关系表达式判断对象间的时态拓扑关系.若以 128 对象为例,则得出表 8 所示的结果集,再根据 3.3 节中的判断逻辑得出其存在的时间段为 1996 年底到 1997 年 6 月 19 日;若以 101001 号行政区为例,则根据 3.3 节中的类 SQL 语句可得出表 9 所示的结果集,再根据 3.3 节中的判断逻辑得出其存在的时间段为 1996 年底至今.根据表 6 的逻辑关系表达式可判断出 128 对象始于(starts) 101001 号行政区.

表 8 128 号对象用 3.3 节中类 SQL 语句执行的结果

ID	Time	Oper	行政区编码	行政区名称	...
128	1997-6-19	D	101001	西红门镇西红门村	...

表 9 101001 号行政区用 3.3 节中类 SQL 语句执行的结果

ID	Time	Oper	行政区编码	行政区名称	...
128	1997-6-19	D	101001	西红门镇西红门村	...
539	1997-6-19	A	101001	西红门镇西红门村	...

对于空间对象的历史沿革,则根据 3.4 节给出的方法判断.如对于 101001 号行政区,根据 3.4 节给出的类 SQL 语句,其执行结果与表 9 相同,通过比较 1997 年 6 月 19 日变化前(128 号图斑),变化后(539 号图斑)位置关系,便可知道 101001 号行政

区发生了扩张.

5 结 论

(1) 基于对象关系型 GIS 的改进基态修正模型是一种较为实用的模型. 它可以充分利用关系型数据库的关系演算功能, 并辅之以相应的分析逻辑来实现“时空快照的恢复”、“时态的分析”、“空间对象的历史沿革”等基本功能.

(2) 基于对象关系型 GIS 的改进基态修正模型充分利用关系型数据库元组无序的性质和对象关系型 GIS 生成临时拓扑的能力, 将“时空快照恢复”的过程转化为集合的关系演算操作, 实现了“非起始”状态的随机整合, 提高了恢复历史数据的执行效率.

(3) 改进基态修正模型以现状数据为基态, 减少了系统中“数据整合操作”出现的频数.

(4) 基于对象关系型 GIS 的改进基态修正模型对系统解析空间数据编辑能力的要求较高, 即要求系统能够将允许的各种空间编辑操作正确地解析为“旧对象消亡和新对象产生”的过程. 为了降低系统解析的复杂性, 可对数据的录入和编辑操作给予适当的限制, 如采用 ArcView 的面向对象的空间数据录入方式.

(5) 文中历史集中只加入了 *Time* 域, 但是为了更充分地描述时空变化, 同样也可以加入事务时间、有效时间等信息, 并可进行相应的分析.

参 考 文 献

- 1 Kathleen Hornsby, Max J. Egenhofer. Identity-based change: A foundation for spatio-temporal knowledge representation[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2000, 14(3): 207~224.
- 2 Philip Sargent. Spatio-temporal GIS[EB/OL]. URL: http://homepages.tesco.net/~phili_p.sargent/spatiotemporalseminar/tsld001.htm. 1998-05-25/2002-01-22

- 3 May Yuan. Temporal GIS and spatio-temporal modeling [EB/OL]. URL: http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE-CD-ROM/sf_papers/yuan-may/may.html. 2002-01-18
- 4 Peuquet D J, Duan N. An event-based spatio-temporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data[J]. International Journal of Geographical Information System, 1995, 9: 7~24.
- 5 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): 222~228.
- 6 王晓栋. TGIS 数据模型和土地利用动态监测数据库的实现[J]. 清华大学学报, 2000, 40(S1): 15~18.
- 7 黎曦. 更新式时空数据模型的扩展及实现[J]. 宁波大学学报, 2000, 13(2): 92~95.
- 8 郑扣根, 余青怡, 潘云鹤. 基于事件对象的时空数据模型的扩展与实现[J]. 计算机工程与应用, 2001, (3): 45~61.
- 9 舒红, 陈军, 杜道生等. 时空拓扑关系定义及时态拓扑关系描述[J]. 测绘学报, 1997, 26(4): 299~306.



程晶秀 1973年生, 博士, 现为中科院资源与环境信息系统国家重点实验室博士后. 主要研究方向 GIS 数据模型、大型 GIS 软件体系结构、GIS 软件的开发以及遥感影像的处理与识别等.



周成虎 1964年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 国际欧亚科学院通讯院士, 中科院资源与环境信息系统国家重点实验室主任. 主要研究方向包括空间数据库挖掘与知识发现、地理空间单元相互作用、遥感影像的地理理解与分析等.



陆健 1970年生, 博士, 副研究员. 主要研究方向包括时空数据模型、空间索引、地理网络分析算法等.