

基于动态多级基态的修正模型的 TGIS 研究

张 丰 刘仁义 刘 南

(浙江省 GIS 重点实验室, 杭州 310028)

摘 要 针对基于基态修正模型的时态地理信息系统(TGIS)历史回顾效率低下的问题,提出了一种基于动态多级基态的修正模型(DMBSA),并结合 TGIS 的典型应用——土地产权产籍管理信息系统,依据地籍数据的时空内聚性及空间、属性内聚性强度,通过分析面向对象的时空数据特点,设计了 DMBSA 模型的时空数据库,实现了对地籍变更的历史回顾;最后对基于上述模型和方法自主开发的土地产权产籍管理信息系统 ReGIS 进行了介绍。应用结果表明,基于动态多级基态的修正模型(DMBSA)能低冗余、高效率地实现时空数据的存储、管理和历史回顾。

关键词 时态地理信息系统 历史回溯 动态多级基态的基态修正模型 地籍管理
中图分类号: P208 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2004)11-1369-07

A Study on TGIS Based on Dynamic Multilevel Base State with Amendments

ZHANG Feng, LIU Ren-yi, LIU Nan

(Zhejiang Provincial Key Laboratory of GIS, Zhejiang University, Hangzhou 310028)

Abstract It is inefficient that realizing the query and redivivus of the history information based on the modal of base state with amendments though the modal can store change data with low redundancy. Based on the character of spatio-temporal cohesion and the spatio-property's, this paper introduces a method for designing and building spatio-temporal database based on dynamic multilevel base state with amendments, through analyzing the parcel land change character of the object-oriented TGIS. The modal of based on dynamic multilevel base state with amendments (DMBSA) is derived from the modal of base state with amendments and conquer the shortcoming of the modal. At last, a self-developed software package of land cadastral information system (ReGIS) based on above model and methods is presented. The application — ReGIS states that the modal of based on dynamic multilevel base state with amendments (DMBSA) can store and manage spatio-temporal data with low redundancy and trace history information efficiently.

Keywords temporal geograph information system(TGIS), land parcel change trace, modal of dynamic multilevel base state with amendments, cadastral management

1 引 言

时态 GIS(TGIS 或 Temporal GIS)^[1~3]作为 GIS 的一个新兴研究领域,受到人们越来越多的关注。TGIS 要求提供高效、完善的时间与空间数据的存储、管理和分析机制,以便进行历史回溯、变化监测和预测分析。目前比较流行的时空数据模型有连续快照模型、基态修正模型、时空复合模型、第 1 范式(INF)关系时空数据模型等,但它们在实现时间

序列数据的管理上,均存在需依赖大量冗余数据才能进行快速历史查询,或者顾及数据冗余,却造成历史回溯性能低下等不足。

基态修正模型虽能提高时态分辨率,并能减少数据冗余量,但在历史动态变化频繁的情况下,就凸现出其历史回顾效率低下的缺点。一般的扩展方法是建立分级索引,这样历史回顾低效问题虽有所改善,但由于需要建立并管理复杂、繁琐的变化索引,因此又陷入另一个困境。笔者所在的浙江省资源与环境地理信息系统重点实验室开发的土地产权产籍管理信息

系统中,采用了一种新的基于基态修正模型的扩展模型——基于动态多级基态的修正模型(dynamic multilevel base state with amendments,简称DMBSA)的时空数据模型来进行时空数据库设计,较好地解决了数据存储量和历史回顾效率之间的矛盾。

众所周知,国土资源是当今TGIS应用最热门的领域,本文结合土地产权产籍管理信息系统的开发,通过分析宗地数据的时态内聚性强度和空间与属性内聚性强度来探讨基于DMBSA模型的时空数据库设计,并详细阐述了基于该时空数据模型的历史数据的存储和管理机制。

2 TGIS 时空数据模型

建立TGIS时空数据模型的关键是如何有机地结合时态空间数据和属性数据,并更有效地组织、管理和完善时态地理对象的属性、空间和时间语义,以便进行历史回溯、变化跟踪监测和分析预测未来变化趋势。

2.1 时态、空间与属性内聚性

设计时空数据库时,首先要考虑时空数据的时态内聚性强度和空间与属性内聚性强度,其中,时态内聚性强度主要是指现状数据与历史数据结合的紧密程度,其包括对象变更的频繁程度和对现势、历史数据操作的频繁程度等。一般现状和历史数据可以存储至同一数据集,或者分离存储,其中对于内聚性较强,对象变更频繁、变更量较大或对历史数据操作频繁的情况,应将现状数据与历史数据存储至同一数据集;而对于内聚性较弱、现势数据操作频繁、对历史数据操作较少的情况,应考虑将现状和历史分离存储。

空间与属性内聚性强度主要是指应用领域的空间信息与属性信息的结合程度。大家知道,对象总是处于不断变更的过程中,其变化涉及到时间、空间和属性,如果空间形状、状态与属性同时发生改变,则空间与属性内聚性强;如果两者分开变化,则内聚性弱。若空间与属性内聚性强,则数据库设计时,应将空间与属性紧密关联,存储至一个数据集,否则应分别存储^[4]。

显然,设计时空数据库应折中考虑时空数据时态内聚性和空间与属性内聚性的强度,忽略其中任一方面均会导致系统性能的下降。

2.2 基态修正模型

基态修正模型是按事先设定的时间间隔采样,且只储存某个时间的数据状态(称为基态)和相对于基态的变化量。基态修正的每个对象只需储存一次,且每变化一次,只有很小的数据量需记录,同时只有在有事件发生或对象发生变化时,才存入系统中,由于时态分辨率刻度值与事件发生的时刻完全对应,从而提高了时态分辨率和减少了数据冗余量^[5](如图1所示)。

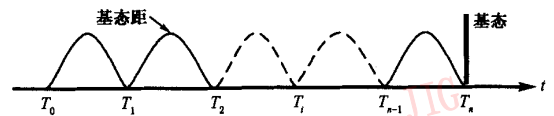


图1 基态修正模型

基态修正模型非常适用于全局变化较少,而局部变化较多的情形,而且对于局部的小范围的单个或少数几个对象的变化,基态修正模型仅存储发生变化的对象。根据基态修正模型的这种存储变化量的特性,在进行时空数据库设计时,就能够较好地采用关系数据库来记录对象变更的亲缘继承关系。在进行历史回顾时,通过基态和基态距的动作关系即可以恢复任意时刻的历史。

由于基于时间、以事件驱动的面向对象的基态修正模型,且与面向对象的关系型数据库能较好地结合,因此其时间表与对象表易于关联,这样对于给定时间表中的元素,可即时查询出符合条件的基态变化量,但基态修正模型较难处理给定时刻的时空对象间的空间关系,而且对于将整个地理区域作为处理对象时,该模型处理方法难度较大、效率较低,管理变化索引也很困难。

2.3 动态多级基态修正模型

基于时间的面向对象的基态修正模型,虽与面向对象的关系型数据库能较好地结合,但在变更频繁情况下,恢复历史的效率显得非常低下,变化索引的管理也非常复杂。鉴于基态修正模型的优点和缺陷,有必要对其进行扩展,扬长避短,以充分利用其数据冗余小的优点,并寻求解决变化索引管理困难和历史回顾效率低下的问题。本文采用一种基态修正模型的扩展模型——动态多级基态修正模型来作为基态修正模型的扩展。

基态修正模型减少数据冗余的秘诀是在对象发生变更时,只存储该时刻的变化量(基态距),而不存储该时刻所有数据,以避免造成重复存储,但是由于

随着变化的频度和力度的加大,会增加基态距的数量,因此进行历史回顾时,必须依赖该时刻和当前时刻间的各个基态距和当前基态进行逐步回退求解,例如,求图 1 中时刻 T_2 的历史状态,就需要知道时刻 T_2 到时刻 T_n 之间所有的基态距和当前基态才能恢复。这个计算量随着时间的推移和变化的加快会成倍增长。

试想,如果在 T_2 时刻附近记录一个历史状态,则 T_2 时刻的状态只需该历史状态和 T_2 时刻到该状态发生时刻之间的基态距就可以获得。如果根据事件变化的频度和基态距的大小适当地在历史变迁过程中记录若干历史状态(即设立历史基态),则不会造成太多的数据冗余,还可大大提高历史回顾的效率。

DMBSA 模型就是基于上述思想所设计的时空数据存储模型。通过发生小范围事件或者说发生少量事件时,都会有一个和该时刻基态相比的变化修正量,该变化量就是一个基态距,通过记录基态距,使当前状态始终是当前基态。当发生大范围事件或者大量变更事件发生时,可设立一个历史基态,以便于进行该时刻以前的历史时刻的历史回溯、历史查询等操作。如图 2 所示,由于在 T_0 到 T_n 的历史变迁过程中发生了很多历史变更,因此应在时刻点之间记录基态距。由于时刻 T_2 发生巨大变化,故而在 T_2 时刻设立了一个历史基态 1。这样 T_n 时刻的状态始终都是当前基态。

如图 1 所示,恢复历史时刻 T_0 的历史状态,要从当前基态 T_n 时刻逐步回溯,通过 n 个基态距即可恢复到时刻 T_0 的状态。如图 2 所示,若要恢复历史时刻 T_0 的历史状态,则要检索 T_0 时刻所属基态(历

史基态 1)和 T_0 与 T_2 之间的基态距(基态距 0 和基态距 1),然后通过历史基态 1 和两个基态距即能恢复 T_0 时刻的历史状态。对于变更频繁、历史恢复操作较多的系统来说,采用 DMBSA 模型更能胜任时态信息的管理。

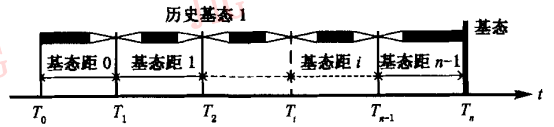


图 2 动态多级基态修正模型

3 DMBSA 数据库设计

由于 TGIS 的动态性、全面性特点,使得其在所有与地理信息有关的领域都有广泛的应用前景,如地籍、土地利用、房地产、交通、能源等,而其中以土地产权产籍中宗地的变更操作最频繁、历史回顾最复杂。本文结合土地产权产籍信息系统来叙述 DMBSA 数据库的设计。

3.1 地籍数据特点

地籍管理的核心是土地产权管理,而土地产权关系的空间载体是宗地。宗地变更包括宗地空间变化和宗地权属变更。宗地变更是由于宗地的征用、划拨、出让、转让、出租、抵押、继承等引起的,概括起来有以下 3 种变更情况:一是宗地的空间形状、权属同时变化;二是宗地的空间发生变化,但权属不变;三是宗地的权属发生变化,但空间形状不变^[5]。图 3 显示了某一行政区划在 T_0 到 T_3 时间内的宗地变更情况。图中数字表示宗地编号的变化,不同图案表示不同的宗地权属。

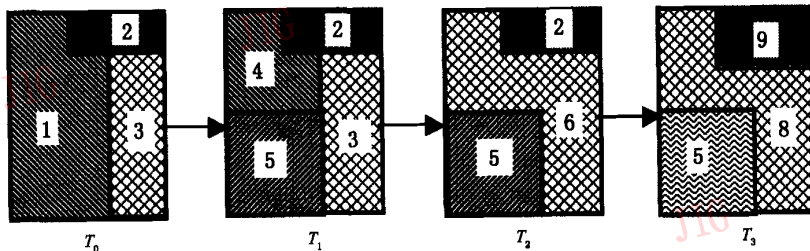


图 3 宗地变更过程

T_0 到 T_1 过程中,宗地 1 分割成宗地 4 和宗地 5。对于宗地 4 来说,权属没有发生变化,仅宗地空间发生了改变,属于第 2 种情况。宗地 5 由宗地 1 分割而来,空间和权属都发生了变化,属于第 1 种情况。

T_1 到 T_2 过程中,宗地 4 与宗地 3 合并成宗地 6,合并后宗地权属与宗地 6 同,对于该权属所有者来说,宗地空间虽发生了变化,但权属没有改变,属于第 2 种情况。

T_2 到 T_3 过程中,宗地 2 变更到宗地 9,权属、空间属性都有了变化。宗地 6 到宗地 8 也属于此种类型,属于第 1 种情况;宗地 5 空间虽没有发生改变,但权属发生了变化,属于第 3 种情况。

地籍信息系统的主要职能之一就是处理日常地籍变更业务。频繁宗地变更要求地籍信息系统不仅要保证地籍数据的现势性,还要进行历史数据的管理。每一宗变更业务的产生都包含着地籍时间、空间或属性的变更,由于一旦产生变更就会产生历史数据,所以地籍信息系统具有强时态内聚性,其现势数据和历史数据宜存储在同一数据集,但在现实的地籍信息管理中,对历史数据的直接操作一般在历史回顾、历史查询、预测预报分析时发生,在日常业务中并不体现。如果现势数据和历史数据单纯地存储于同一数据集,则频繁的变更会造成操作对象数据集非常庞大而影响系统效率。

宗地的属性数据分以下两种类型:一类是和空间数据强相关,一类是和空间数据弱相关,其中和空间数据强相关的属性是指随着空间坐标、位置、形状改变而改变的性质,如宗地编号、土地坐落、四至关系、面积等;弱相关是指空间变化不是引起属性变化的必然原因,而是有着自身相对独立性,但是仍然以宗地为载体,比如宗地所属、利用类型等,所以在设计时空数据库时,属性数据的设计相应地需作以下两种处理:一类属性数据因为存在强空间与属性内聚性,所以属性数据和空间数据应存储至一个数据集;另一类属性数据的空间与属性内聚性弱,可独立存储于属性数据库。

地籍信息系统管理时间序列事件时,需要时态数据库的支持,因为当查看某一历史时刻宗地状态或进行宗地历史回溯时,如果采用基于基态的基态修正模型,则势必会在进行历史回顾时造成很长时间的等待,而且回顾的历史时刻越早,等待的时间越长,这样变更越频繁,越显现历史回顾效率的低下。由于 DMBSA 模型既不会产生很大的数据冗余,又能很好地解决历史回顾的效率问题,因此非常适合现代对变更频繁的地籍信息进行时态管理的需求。

3.2 数据库设计

当描述固定时间发生的事件时,时间是一个固定时间点的值,所描述的事件是一个时间点的事件。如果将宗地作为对象,将一次宗地变更作为一个事件来描述,则宗地变更就是记录宗地在某时刻发生的动作、空间位置及属性信息变化的事件^[6]。

在时空数据模型中,时空信息可通过属性域、空间域、动作域来描述。时空数据库模型的信息描述如图 4 所示。在该模型中,属性域用于描述属性信息,属性信息包括对象的权属信息、土地利用类型、土地等级等信息,由于此类属性信息存在空间与属性弱内聚性,所以和空间数据分开存储;空间域用于描述空间信息,即记录对象的空间位置、空间关系(包括平面拓扑关系、时态拓扑关系)、空间属性(如长度、面积)等,由于其中的属性信息和空间有着强内聚性,所以存储于同一数据集;动作域用于描述事件发生的时间以及该事件作用的对象和发生的动作。属性域、空间域和动作域之间的空间链接关系可通过某一共同的信息来标识,比如申请编号、宗地编号。

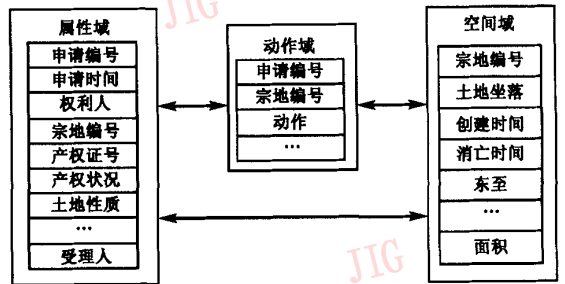


图 4 时空信息描述

3 个域之间既有相互独立性,又有关联性。各个域的对象相互之间既相对独立,又相互牵制、影响,若对象在一个域中的信息发生改变,则会引起该对象在其他域内信息的变化。

时空数据库包含过程库、现势库和历史库。描述时空信息的 3 个域都存在于这 3 个库中(如图 5 所示)。在业务受理过程中,时空信息数据暂时存储在过程库中,待输入信息确定后再入库到现势库,当变更业务数据入库时,原宗地信息则转入历史库。另外业务流程中还允许回退,变更业务的回退包括现势库数据回退到过程库和历史库数据回退到现势库,即恢复到变更业务入库前的状态。



图 5 时空数据库结构

属性域和动作域数据在数据库内的存储和管理可采用基于基态修正模型进行设计,基态数据存储于现势库,过程库存储中间过程数据,基于基态的修正变化量存储于历史库。

采用 DMBSA 模型设计的时刻数据库,在业务受理期间,过程数据放在过程库,确定入库后,数据再入库到现势库,若发生变更业务,则变更后的原有数据转入历史库的修正表中,待变更达到一定程度就建立历史基态。建立历史基态是将现势基态和历史库修正表数据合并成一个表,并置入历史基态数据集成为一个历史基态,同时在历史基态表中记录该历史基态的信息:如历史基态 ID、创建时间等。

3.3 时空数据存储机制

以图 3 所示的宗地变更过程为例来说明本文所提出的基于 DMBSA 模型的时空数据的存储和管理机制。如在 T_0 时刻(初始状态),发生了 3 个事件,则在现势库中存储、描述 3 个宗地的基本信息,其宗地属性信息存储于属性表(见表 1)。宗地的图形信息存储在空间域,在图形表(见表 2)中记录了 3 个宗地的基本空间信息,其中组成宗地几何形状的坐标信息记录在点坐标表中,在此不作详述。

表 1 属性表

ID	申请编号	宗地编号	土地坐落	创建时间	消亡时间
1	1001	034-...-001	1	T_0	
2	1002	034-...-002	2	T_0	
3	1003	034-...-003	3	T_0	

注:表中申请编号为受理业务的唯一标识号,一个申请编号对应记录一个事件;两个时间信息的组合表示一个对象的生命周期

表 2 图形表

ID	点数	$E_{x_{min}}$	$E_{y_{min}}$	$E_{x_{max}}$	$E_{y_{max}}$	面积(m^2)
1	6	0	0	5	8	36
2	4	3	6.5	8	8	10
3	4	5	0	8	6.5	18

注:表中 $E_{x_{min}}$ 、 $E_{y_{min}}$ 、 $E_{x_{max}}$ 、 $E_{y_{max}}$ 表示宗地几何形状的外界矩形的坐标范围值

宗地变更发展到 T_1 时刻(此时 T_1 时刻的状态作为当前基态)发生了一个事件,即宗地 1 分割成了宗地 4 和宗地 5,其变更产生的基态距记录在历史库的修正表中(见表 3)。

表 3 修正表

ID	申请编号	宗地编号	土地坐落	创建时间	消亡时间
1	1001	034-...-001	1	T_0	T_1

另外,对所发生的事件还需记录其动作,说明事件发生的因和果,并在动作域表中记录变更动作(见表 4)。

表 4 动作域表

申请编号	宗地编号	动作
3001	034-...-001	分割
3002	034-...-001	分割

到了时间 T_2 ,若要存储一个历史基态,则将现势库的属性域表、图形域表以及历史库的基态距表合并存储成一个历史基态表,而动作域表也随之放入历史库,然后基态距表和动作域表重新开始存储 T_2 时刻后的修正量和动作。

3.4 历史回顾

实践表明,现有的很多地籍信息系统难以实现独立宗地、共有宗地以及共有宗地混合变更的历史数据查询与回溯,即使具有类似功能,也往往存在较大的空间冗余,或者历史回溯不能追本溯源,而基于上述 DMBSA 时空数据库模型的地籍信息管理系统,则能很好地实现单宗地地历史回溯和某一指定区域的历史再现。

3.4.1 历史回溯

历史回溯是指宗地的变迁历史,即该宗地从哪里来,怎么来的。根据动作域和属性域、空间域的关联关系,可通过构造合适的 SQL(structured query language)查询语句来实现全程历史回溯。构造的 SQL 如下:

```

if (@ZX=0)
begin
    Select @sqbh = sqbh, qlr from cqxsk.. attrtab
    where zdbh=@zdbh
    Select zsbh, zx from cqxsk.. acttab where sqbh =
    @sqbh
end
else
begin
    Select @sqbh =sqbh, qlr from cqslsk.. attrtab where
    zdbh = @zdbh
    Select zdbh, zx from cqslsk.. acttab where sqbh=
    @sqbh
end

```

历史回溯过程中,首先提取结果,然后循环使用该 SQL 语句,并且每进行一次查询就在当前节点加一棵子树,这样整个历史回溯的结果就形成一棵倒叙的回溯树。如图 6 所示,分析宗地 8 执行 SQL: ExecSql (SQL(034-...-008,0)) 首先得到宗地 8 自身信息以及变更动作域信息,然后根据返回的父宗地信息进行搜索,就可得到如图 6 所示历史回溯结果。

如果要查询宗地历史,可在历史树上随意点击任何一宗宗地,即可根据宗地编号以及所属库的信息,进而搜索到该宗地的属性信息和空间信息。

3.4.2 历史再现

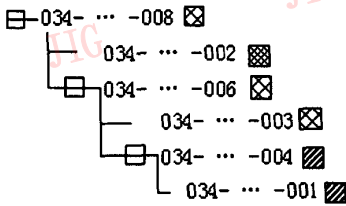


图 6 宗地 8 历史回溯

历史再现是指恢复某一时刻历史状态,即通过该时刻所属的基态和修正信息来恢复该历史时刻的全貌。历史再现的实现可分两种情形,例如,图 3 中 T_1 为一历史基态,其恢复 T_1 时刻前后的历史状态就有如下两种方式:

(1) 一种为当前现状为该历史时刻所属的基态,即查询时刻 T_i 处于 T_1 和 T_2 之间时,现势基态是该时刻所属基态,其恢复 T_i 历史时刻的全貌过程为:首先判断 T_i 时刻所属基态,然后找出 T_i 时刻到 T_2 时刻之间由于变更所产生的修正量,再相对于基态进行回退修正,即可得到 T_i 历史时刻的全貌。实际实现时,可通过加载现势数据和历史库修正数据,应用以下 SQL 语句:创建时间小于 T_i 并且消亡时间大于 T_i 来实现。

(2) 另一种情况是历史时刻 T_i 所属基态是历史基态,即 $T_0 < T_i < T_1$ 。恢复 T_i 时刻的历史状态,则根据时间 T_i 在历史库中通过历史基态表检索到 T_i 时刻所属历史基态 T_1 ,因为历史基态表中基态数据和修正信息存储于同一个数据集,所以直接用以下过滤条件:创建时间小于 T_i 并且消亡时间大于 T_i ,即可恢复历史时刻 T_i 的全貌。

4 应用实例

ReGIS 基于 SQL Server 数据库平台,采用 VC++6.0 开发语言及 COM 组件技术,由自主开发的数据库引擎 ReSDE 来实现属性域和动作域在数据库的存储和管理,其中图形数据的组织、存储和管理则借用功能强大的空间数据库引擎 ArcSDE,数据模型采用 DMBSA 模型。该系统具有强大的 GIS 图形编辑功能,能动态管理土地管理工作的全部业务以及现状、过程、历史图形、属性拓扑信息,可实现对土地管理工作登记、调查、审批、缮证全过程的动态跟踪管理。该系统对历史基态的设立是基于宗地出现大范围的变更,由于此时该区域的基础地形图

进行了更新,因而在图库中装载地形数据时就会提示用户创建历史基态。该系统不仅可恢复任意给定时刻的历史再现,也可选择任意宗地进行历史回溯和历史查询。

图 7 为系统的图库管理模块,该模块用于实施现时库、过程库、历史库的数据存储和维护。图 8 显示了某一宗地的历史回溯情况,用一棵倒叙树就可将该宗地的来龙去脉展现得淋漓尽致,用户还可任意选择任一现状宗地或历史宗地来查询宗地历史详情。

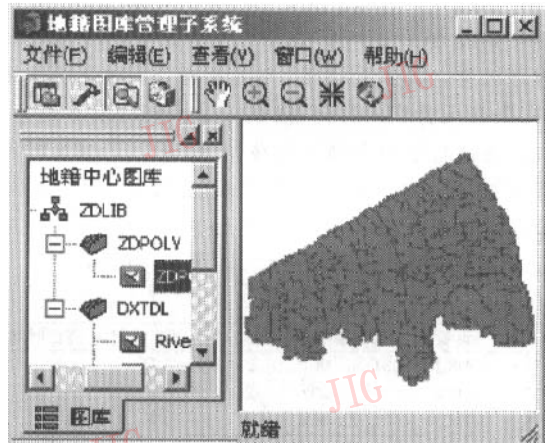


图 7 图库管理模块



图 8 宗地历史回溯

5 结 语

本文提出的基于 DMBSA 模型的 TGIS 系统设计方案,在自主开发的 ReGIS 中得到应用,实践证明,该时空数据模型能低冗余、高效率地实现时空数

据的存储、管理和历史回顾。该系统虽能自动实现基于基态的修正,并能记录基态距及动作,但系统不具备在经历较长时间变更时,智能地自动设立历史基态的功能,只能给用户的信息来交互地实现历史基态的建立。根据用户使用的意见和要求,系统功能正不断完善,目前这方面的研究开发和改进工作仍在进行之中,期望在土地利用现状调查系统中得到更深远的研究和开发应用。

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[J]. 地球科学-中国地质大学学报,2002,27(3): 241~245.
- 2 黄明智,张祖勋. 时空数据模型的 N1NF 关系基础[J]. 测绘学报,1997,26(2):1~6.
- 3 阎宏斌. 时态 GIS 数据模型及基态修正时空数据模型的扩展[J]. 三晋测绘,2002,9(3-4):41~45.
- 4 王华敏,陈继祥,于雷易. 基于基态修正模型的地籍时空数据库设计与实现[J]. 测绘信息工程,2003,28(3): 9~11.
- 5 刘仁义,刘南,苏国中. 时空数据库基态修正模型的扩展[J]. 浙江大学学报,2000,27(3): 196~200.
- 6 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.



张 丰 1977 年生,1998 年武汉测绘科技大学摄影测量与遥感专业毕业,现为浙江大学博士研究生。主要研究领域为面向对象的空间数据库理论、时空数据模型及 GIS 应用系统技术开发。土地产权产籍管理信息系统开发主要参与者,目前继续在该时态模型的又一应用系统——土地利用现状调查系统继续研发工作。

E-mail:zfcarnation@sina.com

zfcarnation@163.com



刘仁义 1960 年生,博士,现为浙江大学教授。主要研究领域为面向对象的空间数据库理论、时空数据模型及 GIS 应用系统技术开发,主持过多项国家及省部级大型 GIS 项目的研究工作。近一年多来,获两项省部级科技进步奖,在国家一级学报发表论文 10 余篇。



刘 南 1944 年生,教授,博士生导师。20 世纪 90 年代初在国外从事地理信息科学领域研究工作多年,现任中国地理学会常务理事,浙江省地理学会理事长。留美国回国后创办浙江省资源与环境信息系统重点实验室,任主任至今。近两年获三项省部级奖,在国家一级学报发表论文 10 余篇,主要研究领域为 GIS 理论及应用。