

时态 GIS 的面向过程语义与 HAS 表达框架

谢炯¹, 薛存金², 张丰³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院对地观测与数字地球科学中心, 中国科学院数字地球科学重点实验室, 北京 100191; 3. 浙江大学地理信息科学研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要: 分析认为时空过程语义兼具连续体和偶发体的双重特性, 是对现实世界地理过程的简化与抽象表达。针对对象建模视图和基于事件模型不足以描述过程语义的缺陷, 提出了一种显式建模地理过程的 HAS 表达框架, 将过程视图剖分为发生(Happenings)、动作(Actions)与状态(States) 3域, 分别描述时空过程的起因、行为过程和结果状态。在土地利用管理系统中的应用表明, 其能较好地对土地利用变迁过程进行表达, 能够通过时空查询实现对土地利用变迁过程的整体复原。

关键词: TGIS; 时空过程; 事件; 因果关系; 土地利用

中图分类号: P208 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2011)04-0001-07

物理世界的一切均是过程(Process), 如地理动力原因产生的海洋涡旋自然过程、人类活动导致的土地利用变迁过程等^[1]。建模地理过程是分析时空现象、提取时空高层知识的重要基础^[2,3]。纵观时态GIS(TGIS)语义建模研究进展, 从静态对象到快照序列, 再到对象的变化序列和事件的发生序列, 均在不同层次体现着过程化表达思想^[2]。面向过程语义不仅要回答地理事物和现象在哪里、在何时发生了什么变化(Where, When, What), 还渴望回答变化为什么会发生(Why)、变化如何发生(How)等深层次时空语义问题^[2-5]。由于过程语义的复杂性以及领域多样性, GIS应如何处理各种类型的地理过程来确保这些过程的显著特性和行为得到表达, 仍未得以解决^[6]。

本文首先从本体层次讨论了过程语义及其建模方法, 并基于此给出了一种对地理过程进行显式建模的 HAS 表达框架, 并从语义与逻辑表达、数据组织与查询、应用实例等不同层次进行了分析。

1 过程语义及其建模方法

1.1 过程语义的本体双重特性

对象建模与事件/过程建模的本质内容是众所周知的连续体(continuants)和偶发体(occurrents)之间的区别^[7,8], 但同属于偶发体的事件与过程概念的区分, 目前尚无明确统一的界定。Galton认为事件是固定的历史事项, 不能被描述为经历变化, 然而过程更像是能够直接在某一时间呈现, 并随时间延

续而经历变化的普通对象^[9]。Reitsma认为过程是逻辑上相连的事件序列, 并认为过程能够以与对象同样的方式定义变化, 即变化是过程在一个时刻和另一时刻之间的区别^[10]。Dias等进一步泛化了过程的表达内容, 认为过程是一个考虑变化各个方面的更为宽泛的概念, 包括描述引起对象演变的约束、条件和操作的细节^[11]。

笔者分析认为, 过程兼具偶发体和连续体的双重特性。这是因为, 从产生机制角度, 过程与事件类似, 归属于偶发体, 因为两者并无绝对的界限, 它们是在不同时空尺度上对事物发生现象的一种抽象, 如更大尺度上可以看做是一个事件, 在细粒度上蕴含着—组过程; 反之, 一个更为宏观的过程内部包含诸多事件的发生, 如过程的开始和结束本身就可以构成事件。其次, 过程又与对象类似, 具有经历变化的可能性, 而事件则更多作为一个固定的历史情节, 一旦记录就不再改变^[9,10], 因此, 过程需要表达其变化与状态, 具有连续体特性, 如土地利用变迁是一个过程, 它会呈现出变化的快慢和变迁的不同内容。

1.2 已有建模方法与本文思路

由于TGIS从“静态”描述对象的状态发展而来, 故长期以来, 人们的注意力多集中于从对象建模视图出发, 通过建模对象/场的状态变化, 反映局部动态过程^[3]。而事件与对象/场模型的结合, 进一步从事物发生角度丰富了过程语义。文献[12]主要以转变实体的一组过程来建模事件, 其过程语义是对事件发生现象的描述。文献[13]主要对网络事件及

收稿日期: 2011-03-08; 修订日期: 2011-04-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(40801162、40676096、41001227); 浙江省自然科学基金项目(Y5090130)

作者简介: 谢炯(1977-), 男, 博士, 主要从事时空数据建模与空间数据管理技术研究。E-mail: xie_jiong@163.com

其与对象状态间的因果联系进行分类描述,虽提及过程概念,但未涉及过程语义的具体界定。文献[7]提出了地理时空现象的面向事件表达方法,并建立了一套基于事件描述过程的形式化方法。国内学者也基于事件模型给出了过程化表达方法^[5, 14, 15]。

笔者分析认为,过程存在的本体双重特性决定了以对象为基础的连续体建模框架,或以事件为核心的偶发体建模框架,均无法有效地表达现实世界的地理过程。前者由于模型框架以对象为核心,故缺乏对事物发生机制及现象整体的描述能力,而基于事件模型虽能够描述事物发生机制,但“事件为序”的事件链表达模式仍过于粗放^[3, 5, 16, 17]。一方面,地理时空现象的存在本身是一种地理过程而非简单的事件组合;另一方面,事件作为固定历史事项的“快照”,难以反映其背后发生的变化过程,如人们获知某一事件,但对于事物经过可能仍一无所知。

因此,对地理过程的表达需首先跳出静态 GIS 的以“对象”为中心的建模视图,将过程(或称为时空过程)作为一个独立的语义视图进行建模,使地理时空现象描述为内含变化的一组过程,而不是经历变化的一组对象。其次,有必要对基于事件模型进行扩展,一方面将事件和过程作为多尺度建模事物发生现象的两种不同抽象,另一方面,需进一步对事件/过程的动态关系进行描述,通过关系语义回答事件/过程为何发生问题。最后,由于过程本体的双重特性,对过程语义的表达需涵盖事物的发生、变化与结果(状态)3个基本层面,使之形成时空因果综合体。

2 过程视图的时空三域剖分

本文界定时空过程是对现实世界地理过程进行简化、抽象的结果,用于表达计算机世界中的地理过程。图1为过程视图(Process View)的HAS表达框架,并以对象/场视图作类比,假设建模现实世界某地理过程为时空过程P,则P可表示为以下时空三元组:

$$P = \langle H, A, S \rangle$$

其中:H(Happenings)为发生域,建模过程的偶发体特性;A(Actions)为动作域,建模过程作为连续体的变化特性;S(States)为状态域,建模过程作为连续体所具有的状态特性。

2.1 发生域

发生域描述过程如何发生,表达驱动过程演变发展的动因,其包含地理过程和事件两类发生实体及两者间存在的各类发生关系,BNF范式如下:

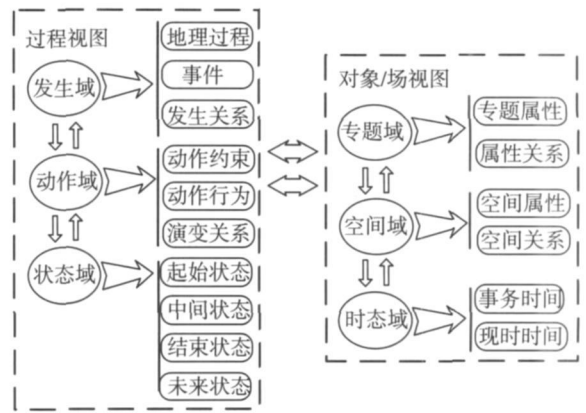


图1 过程视图的时空三域(HAS)剖分
Fig.1 Spatio-temporal 3 domain division (HAS) of process view

$H ::= \langle GeoProcesses \rangle \langle Events \rangle \langle Occurrent\ relations \rangle$

其中: $\langle GeoProcesses \rangle$ 描述时空过程所对应现实世界地理过程的发生属性,可包括地理过程的名称、类型及宏观属性等,如建模某管线铺设工程,则本子域可记录该工程项目的名称、施工范围和施工周期等信息。 $\langle Events \rangle$ 描述时空过程中所发生的系列事件信息,可包括事件的名称、类型及各类属性。事件在HAS框架中被定义为已发生的历史事项,是发生现象的一种快照式表达,它和过程虽同属于对发生现象的抽象,但由于纯偶发体特性,故不具有变化和状态。将发生现象建模为过程或事件与所需表达的时空尺度相关,如管线铺设过程可包含工程启动、竣工、验收等系列事件,但工程启动事件背后实际又经历了工程启动过程。 $\langle Occurrent\ relations \rangle$ 描述以上发生实体之间存在的约束、因果、聚合等时空动态关系。其中发生约束关系用于建模发生实体之间所含的制约或依赖关系,包括:1)时态拓扑约束,如灌注桩施工在地基开挖之后发生;2)空间拓扑约束,如管线接头和管线具有空间连接关系,则当管线接头发生位移事件,将自动触发管线的位移事件;3)参照约束,如B以某种方式引用了A,当A消亡,则B也消亡;4)条件约束,如只有当风力达到3级才能触发某污染物的扩散过程。发生因果关系用于建模发生实体间的时空因果关联,如水合物积聚过程引发燃油爆管事件是一种“过程→事件”的因果关联,而燃油爆管事件导致燃油的泄漏过程则是一种“事件→过程”的因果关联。发生聚合关系则用于建模发生实体间所存在的整体与部分之间的关系,如原子过程聚合为复合过程,将过程在时间上的聚合看作一个事件等。

2.2 动作域

HAS框架将已知的对象/场变化行为定义为动作,通过动作描述对象/场的变化逻辑,如管线对接

动作封装了管线相互衔接并自动加入阀门的变化逻辑。动作域描述了过程中所参与对象/场的各类动态行为,表达过程作为连续体所具备的变化特性,包含 3 类表达要素:动作约束、动作行为和最终形成的演变关系,其 BNF 范式为:

$$A ::= \langle \text{Action constraints} \rangle \langle \text{Action behaviors} \rangle \langle \text{Evolution relations} \rangle$$

其中: $\langle \text{Action constraints} \rangle$ 描述对象/场实施变化过程中存在的限制或约束条件。例如,交通管理应用中交通灯间隔控制的动作约束、土地变更应用中不能将道路拓宽到河流的动作约束等。动作约束更多反映实体自身变化特性,且此类约束按照文献 [12] 的提法,属于时间处于第二位的约束关系。 $\langle \text{Action behaviors} \rangle$ 为动作行为,描述对象/场变化过程中采用的模型或操作。例如,某涡旋对象在 t_1 到 t_2 时段内的扩张行为可采用动力学模型进行模拟;地块间的合并动作可采用基于某种规则的属性合并操作等。 $\langle \text{Evolution relations} \rangle$ 为演变关系,描述对象/场变化前后存在的各种质或量的关系,如 A 变化为 B 和 C 的实体变化关系以及位置移动了多少的空间变化关系等。

2.3 状态域

状态域描述过程各个阶段所参与对象/场的属、时、空状态值,表达过程作为连续体所具有的状态特

性,反映过程不同变化阶段的结果。状态值虽然可取过程变化中的任何切片,但从时态语义上可区分为开始、中间和结束状态(也可包含未来状态),BNF 范式为:

$$S ::= \langle \text{Begin states} \rangle \langle \text{Middle states} \rangle \langle \text{End states} \rangle$$

式中:3 项子域分别描述时空过程中特定动作行为发生前、发生过程中及发生后所涉及的对象/场及其属、时、空状态值。

HAS 框架的发生、动作和状态三域分别描述了过程的起因、行为过程和结果状态,涵盖了事物的发生、变化与结果 3 个基本层面,且三域之间存在着紧密关联,即从三域之间的关系角度:发生是动作的开始,也是导致动作产生的原因,而动作决定状态,最终导致状态的改变,发生、动作、状态三域因果关联,使地理过程的表达形成一个时空因果综合体。

3 过程视图的逻辑表达框架

在三域语义剖分的基础上,对地理过程的表达是一个从“现象整体 \rightarrow 局部过程 \rightarrow 原子变化”的递推分解过程(图 2)。视图的横向上,通过对现象整体的逐级递推分解,形成系列事件/过程的相互接续和更替过程;在视图的纵向上,以“发生 \rightarrow 动作 \rightarrow 状态”的纵向因果链为序,表达了分解后的特定事件/过程所引发的动态演变。

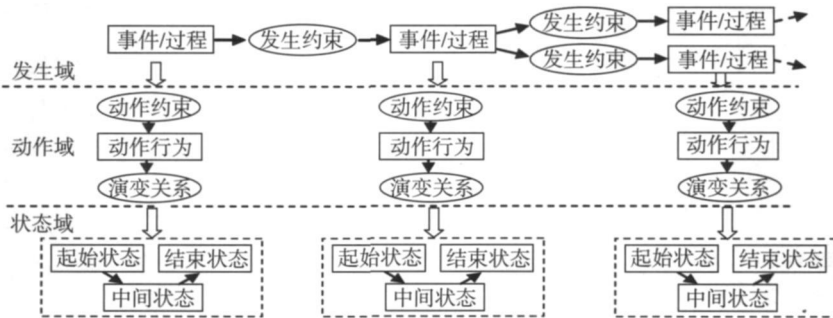


图 2 过程视图的逻辑表达框架
Fig. 2 Logical representation framework of process view

3.1 复合事件/过程的递推分解

假设以 P 代表复合过程, E 代表复合事件, X 代表复合分解后的过程或事件, 以下给出基于发生约束关系的事件/过程分解表达式。

(1) 基于时态拓扑约束的事件/过程分解表达式。采用 TDC (Temporal DeCompose) 分解算子表示,参考 EPL 语言^[18],划分为以下类型: 1) $TDC(P/E, continuity) = (X_1, X_2, \dots, X_n)$; 其中, $continuity$ 指接续发生, (X_1, X_2, \dots, X_n) 为接续表达符,表示 X_1 发生后紧接着 X_2 发生,然后紧接着 X_3 发生, ..., 依次类推。2) $TDC(P/E, simultaneity) =$

$(X_1 \& X_2 \& \dots \& X_n)$; 其中, $simultaneity$ 指同时发生, $(X_1 \& X_2 \& \dots \& X_n)$ 为同时表达符,表示不同 X 在同一时刻或时段同时发生。3) $TDC(P/E, disjunction) = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$; 其中, $disjunction$ 指非同时发生, $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ 为相异表达符,表示非同时发生,但 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 中至少一个发生。4) $TDC(P/E, precedence) = [X_1, X_2, X_3, \dots, X_n]$; 其中, $precedence$ 指优先发生, $[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n]$ 是次序表达符,表示一个松散的序列, X_1 发生后, X_2 发生, ..., X_n 发生。

(2) 基于空间拓扑约束的事件/过程分解表达

式。采用 SDC(Spatial DeCompose) 分解算子表示, 统一表达式为:

$$SDC(P/E, spatial_topo_rule) = X1(A\ spatial_topo_rule\ B) \rightarrow X2$$

其中: *spatial_topo_rule* 为空间拓扑约束规则, “*A spatial_topo_rule B*”代表实体间需满足的空间拓扑关系。例如, 当管线接头发生移动过程 *X1* 时, 由于空间连接拓扑约束规则而导致与之相连的管线对象发生移动过程 *X2*, 且 *X1* 和 *X2* 构成复合过程 *P*。

(3) 基于参照约束规则的事件/过程分解表达式:

$$RDC(P/E, referencial_constraint) = X1(A\ ref\ B) \rightarrow X2\ 或\ X1(A.\ attr\ ref\ B.\ attr) \rightarrow X2$$

式中: RDC(Referencial DeCompose) 为基于参照约束规则的分解算子; “*A ref B*”代表实体 *A* 引用实体 *B*; “*A.attr ref B.attr*”代表实体 *A* 的某一属性引用实体 *B* 的某一属性。

(4) 基于条件约束规则的事件/过程分解表达式:

$$CDC(P/E, boolean_expresstion) = X1(boolean_expresstion) ? X2\ X3$$

式中: CDC(Conditional DeCompose) 为基于条件约束(一般采用布尔表达式)规则的分解算子。表达式含义为, 对发生实体 *P/E* 实行基于条件约束规则的分解, 其源发生实体为 *X1*, 当条件 *boolean expresstoin* 成立, 则进一步导致 *X2* 的发生, 否则导致 *X3* 发生。

3.2 动作与状态的逻辑表达

通过复合事件/过程的递推分解最终获得原子事件/过程, 并由原子事件/过程驱动原子动作的执行。其中, 动作的起因是特定类型的事件或过程, 其执行主体是对象/场, 描述的是其时空变化的过程规约, 采用的是事物行为而非结构建模方法。其中, 动作约束的逻辑表达包含 3 个方面:

$$\langle Action\ constraints \rangle ::= \langle Pre\ conditions \rangle \langle Pst\ conditions \rangle \langle Constraint\ rules \rangle$$

其中: $\langle Pre\ conditions \rangle$ 和 $\langle Pst\ conditions \rangle$ 分别说明动作执行前后需要满足的条件约束; 而 $\langle Constraint\ rules \rangle$ 用于定义动作执行过程中所需满足的条件约束; $\langle Action\ constraints \rangle$ 可借助对象约束语言 OCL 进行定义, 通过程序逻辑进行控制。

动作行为的逻辑表达包含以下 4 个方面:

$$\langle Action\ behaviors \rangle ::= \langle Action\ type \rangle \langle Input\ interface \rangle \langle Behavior\ algorithm \rangle \langle Output\ interface \rangle$$

其中: $\langle Action\ type \rangle$ 描述动作类型; $\langle Input\ interface \rangle$ 和 $\langle Output\ interface \rangle$ 分别定义动作执行的输入和输出接口; $\langle Behavior\ algorithm \rangle$ 为行为算法, 表示执行时空变化的逻辑, 表达的是时空变

化的机制, 如渐变的数理模型或突变的变更模型等; $\langle Action\ behaviors \rangle$ 一般在应用建模时以活动图、流程图等行为建模方法进行定义, 同样需借助程序逻辑进行控制。

通过动作行为的输出可以获得变化前后对象/场的状态信息(记录于状态域)与所需描述的演变关系。以下假设状态域只关注变化前后的对象/场状态, 则演变关系包含以下 4 个方面:

$$\langle Evolution\ relations \rangle ::= \langle PreFIDs \rangle \langle PstFIDs \rangle \langle Relation\ types \rangle \langle Relation\ values \rangle$$

其中: $\langle PreFIDs \rangle$ 和 $\langle PstFIDs \rangle$ 为变化前后对象/场的唯一标识集合; $\langle Relation\ types \rangle$ 表示所关注的演变关系类型, 如体积增量、实体关系等; $\langle Relation\ values \rangle$ 表示演变关系的值, 如体积增大 2 倍, *A* 对象变化为 *B* 和 *C* 对象等。

最后, 状态域中状态值的逻辑表达可沿用传统对象/场时空扩展方法, 如以 $\langle Begir\ states \rangle$ 为例:

$$\langle Begir\ states \rangle ::= \{ \langle FID \rangle \langle Thematic\ domain \rangle \langle Spatial\ domain \rangle \langle VI \rangle \langle DI \rangle \}$$

其中: $\langle FID \rangle$ 为对象/场的唯一标识; $\langle Thematic\ domain \rangle$ 和 $\langle Spatial\ domain \rangle$ 分别记录对象/场的专题属性和空间属性; $\langle VI \rangle$ 和 $\langle DI \rangle$ 为对象/场的有效时间和事务时间。

4 模型在土地利用管理中的应用探讨

4.1 土地利用变迁过程表达实例

假设建模“*a* 开发区建设工程”复合过程(记 *P_adev*) 可分解为道路拓宽(记 *P_{road}*)、征地造机场(记 *P_{pair}*)和核心区建设(记 *P_{core}*) 3 个子过程所构成的松散型序列: $TDC(P_{a\ dev}, precedence) = [P_{road}, P_{pair}, P_{core}]$ 。以 *P_{road}* 为例, 进一步按条件约束进行分解: $CDC(P_{road}, widen_width > 100\ m) = [E]road_admin(widen_width > 100\ m) ? P_{road_comp_change: P_{road_attr_change}}$, 即 *P_{road}* 首先由道路拓宽行政事件 $[E]road_admin$ 所引发($[]$ 代表原子性), 且当拓宽大于 100 m 时, 由该条件约束可知将引发道路复杂变更过程 *P_{road_comp_change}*(道路由线变更为面, 并更新相关属性)。*P_{road_comp_change}* 最后分解为接续发生的 4 个事件, 即地块分割、土地利用属性变更、地块合并及原线状道路删除, 其分解表达式为: $TDC(P_{road_comp_change}, continuity) = ([E]parcel_split, [E]land_use_change, [E]parcel_union, [E]road_delete)$ 。

在发生域分解的基础上, 对以上分解获得的原

子事件/过程自动触发相应的动作。以 $[E]parcel_split$ 为例, 其地块分割动作 $[A]parcel_split$ 如图 3 所示。其中, $\langle Input\text{-}interface \rangle$ 中 $Parcel\ Class$ 为地块对象的集合类, 标识动作的执行主体; $Road\ Buffer$ 为道路拓宽后的覆盖区域, 标识分割对象; 而该原子动作行为算法的定制由动作约束控制, 即常规的地块分割动作包含 3 个步骤, 即搜索分割线相交

的所有地块 ($Cross\ Parcel\ Search$)、对相交地块的分割 ($Parcel\ Divide$) 以及分割后新地块的重新编码 ($Parcel\ Recode$), 但在道路拓宽过程中, 该动作附加了两个动作约束, 其一为 $Widen\ Constraint$, 语义上即道路拓宽不能拓宽到水系, 实际限制了分割目标对象的土地利用类型; 其二是 $Area\ Constraint$, 即分割后地块的面积不能小于系统阈值, 以排除精度误差。

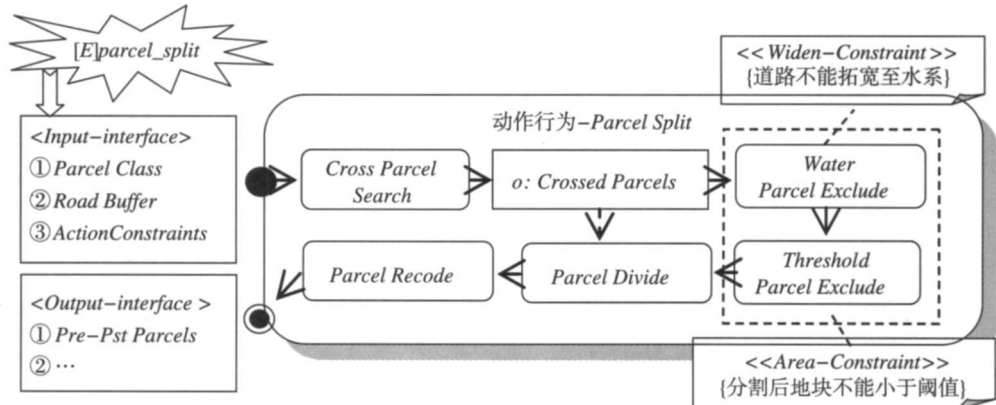


图 3 道路拓宽过程中的地块分割动作
Fig. 3 Activity diagram of parcel division action in road widen process

最后, 动作行为的输出结果包含分割前后的地块对象值及其映射关系。假设实体变化关系是所关心的演变关系类型, 且分割前包含地块 I 和地块 II, 则演变关系即为: $I \rightarrow I_a$ 和 I_b , $II \rightarrow II_a$ 和 II_b , 而地块对象 I 和 II 的属性值记录为 $\langle Begin\text{-}states \rangle$, 而 I_a , I_b , II_a , II_b 的属性值则记录为复合过程中的 $\langle Middle\text{-}states \rangle$ 。

4.2 数据库建模与系统实例

以上对土地利用变迁过程的表达是建立新型土地利用管理信息系统的基础。笔者研制了 LandEx 土地利用现状管理信息系统, 对以上模型进行了实现, 图 4 为数据库模式框架, 其通过扩展 ArcGIS Geodatabase 模型实现。其中 Occurrients 表和 Occurrients-relation 表分别记录发生实体信息及其发生约束关系, 其中 OID 唯一标识每一发生实体。Action-definition 表和 Evolution-relation 表分别预定义系统的每一个原子动作和记录动作执行后形成的对象变化关系, 其中 AID 为动作唯一标识, Act_type 为动作类型, $Constraints$ 记录动作约束, $Interface$ 记录动作组件的接口, $Component$ 记录动作组件名称。Parcel-hist/-proc/-curr 表则分别记录历史/过程/现时地块对象的状态。此外, 可通过在发生表中添加 $Occu_type$ 与动作定义表中的 Act_type 建立“发生-动作类型映射表”, 控制当特定类型事件/过程发生时, 触发相应类型的动作, 以实现两域

间的联动。

传统变更模型由于变更的焦点置于对象, 记录的是对象状态的变化, 因此能够对对象的历史状态进行回放, 但无法对土地利用变迁过程进行复原。基于 HAS 框架可实现对“a 开发区建设工程”中土地利用变迁的整体过程进行复原, 即首先通过查询 Occurrients 表获得每一主过程 (如 $Pardev$) 的宏观发生信息; 然后借助该表中的 $SubOID$ 字段, 可递归分解出各个层次的子事件和子过程, 并通过联合 Occurrients-relation 表获知这些发生实体间的发生约束关系; 进一步通过查询 Action-definition 表和 Evolution-relation 表, 可获知每一原子事件/过程引发了怎样的时空变化, 形成了怎样的演变关系; 最后联合不同时相的对象状态表, 可获知过程变化中所参与对象的状态属性。如图 5 为环北开发区建设主过程所对应的项目宏观信息以及分解为系列变更子过程的查询界面, 且每一子过程记录了对象的状态变化。以上变迁行为过程的记录一方面使用户能够从过程、事件、对象等不同视图查询和分析时空现象, 另一方面, 使归属于同一变迁过程的系列变更操作实现整体历史回退成为可能, 如图 6 为某村划归主过程进行整体历史回退操作的界面。

5 结语

本文针对对象建模视图和基于事件模型不足以



图4 土地利用变迁过程数据库模式框架
Fig. 4 Database schema framework for land use change processes

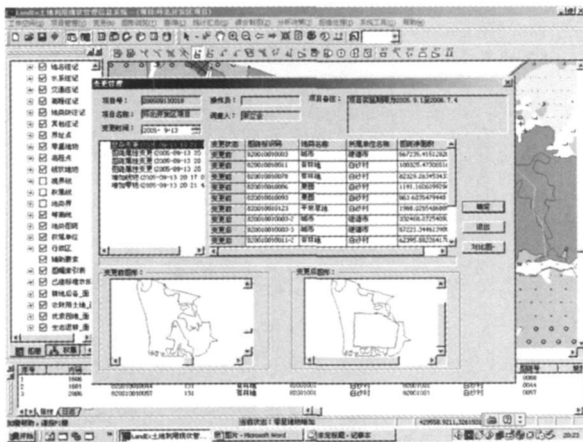


图5 主过程分解查询界面
Fig. 5 Query UI of main process division

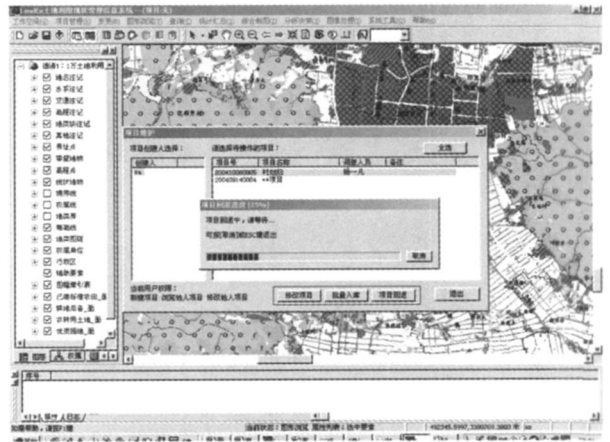


图6 变迁过程的整体历史回滚
Fig. 6 Rollback of whole change process

描述过程语义, 提出了一种显式建模地理过程的 HAS 表达框架, 其改进之处主要包括 3 方面: 1) 对过程与事件概念进行了区分, 将过程作为一个独立的语义视图加以描述; 2) 以过程兼具连续体和偶发体的双重本体特性为依据, 探讨了从过程的发生、动作与状态三域建立地理过程表达框架的思路; 3) 从语义层次讨论了事件/过程之间存在时空动态关系, 并尝试将行为建模融入时空表达框架, 以更好地回答如何变化(How)问题。HAS 框架在土地利用管理信息系统中的应用表明其可行性与应用价值。

由于过程建模的复杂性, 本研究仍具有局限性,

时空动态关系表达等内容还待深入, 框架整体还需借助数学模型做更为严谨的形式化描述, 且考虑到过程的领域多样性, 有待在其他地学应用中得到验证和完善。

参考文献:

[1] BLAUT J M. Space and process[J]. The Professional Geographer, 1961, 13(4): 1- 7.

[2] 薛存金, 周成虎, 苏奋振, 等. 面向过程的时空数据模型研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 95- 101.

[3] 谢炯, 刘仁义, 刘南, 等. 一种时空过程的梯形分级描述框架及其建模实例[J]. 测绘学报, 2007, 36(3): 321- 328.

- [4] BAHER A E, ALIA I A, CHRISTOPHER B J. Spatiotemporal geographic information systems: A causal perspective[A]. AD-BIS 2002[C]. 2002. 191– 203.
- [5] 吴长彬, 闫国年. 一种改进的基于事件-过程的时态模型研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(12): 1250– 1253.
- [6] UCGIS. Extensions to geographic representations, 2002 research agenda[EB/OL]. <http://www.ucgis.org/priorities/research/2002researchagenda.htm>, 2004– 12– 30.
- [7] WARBOYS M. Event oriented approaches to geographic phenomena[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2005, 19(1): 1– 28.
- [8] GRENON P, SMITH B. SNAP and SPAN: Towards dynamic spatial ontology[J]. Spatial Cognition and Computation, 2004, 4(1): 69– 104.
- [9] GALT ON A. Experience and history: Processes and their relation to events[J]. Logic and Computation, 2008, 18(3): 323– 340.
- [10] REITSMA F. Modeling geographic phenomena as processes[EB/OL]. <http://www.cobblestoneconcepts.com/ucgis2summer2002/Reitsma/UCGIS%20paper.htm>, 2010– 12– 30.
- [11] DIAS T L, CAMARA G, FONSECA F, et al. Bottom up development of process based ontologies[A]. GIScience 2004[C]. 2004. 64– 67.
- [12] CLARAMUNT C, THERIAULT M. Managing time in GIS: An event oriented approach[A]. CLIFFORD J, TU ZHILIN A. Recent Advances in Temporal Databases[C]. Zurich: Springer Verlag, 1995. 23– 43.
- [13] GALT ON A, WARBOYS M. Processes and events in dynamic geonetworks[A]. RODRIGUEZ M A, CRUZ I F, LEVASHKIN S, et al. GeoSpatial Semantics: Proceedings of First International Conference, GeoS 2005[C]. Springer Lecture Notes in Computer Science, Volume 3799. 2005. 45– 59.
- [14] JIANG J, CHEN J. A GIS-based Computer Supported Collaborative Work(CSCW) system for urban planning and land management[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2002, 68(4): 353– 359.
- [15] 黄照强, 冯学智. 基于 PETRI 网的土地变更时空过程建模[J]. 测绘学报, 2005, 34(3): 239– 245.
- [16] 余江峰, 冯学智, 都金康. 时空数据模型的研究进展评述[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2005, 41(3): 259– 267.
- [17] 张丰, 刘南, 刘仁义, 等. 面向对象的地籍时空过程表达与数据更新模型研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(3): 303– 309.
- [18] MOTAKIS I, ZANIOLO C. Composite temporal events in active databases: A formal semantics[A]. Recent Advances in Temporal Databases[C]. Berlin: Springer Verlag, 1995. 332– 354.

Process Oriented TGIS Semantics and HAS Representation Framework

XIE Jiong¹, XUE Cun-jin², ZHANG Feng³

(1. State Key Lab of Resource and Environment Information System, Institute of Geographical Science and Natural Resources, CAS, Beijing 100101; 2. Laboratory of Digital Earth Science, Center for Earth Observation and Digital Earth, CAS, Beijing 100191; 3. Institute of Geographic Information Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Modeling geographic process is the key foundation for analyzing geographic spatiotemporal phenomenon and abstracting spatiotemporal high level knowledge. Semantics of spatiotemporal process are analyzed, which are simplified and abstract representation of real world geographic process and have both characteristics of continuants and occurrents. To solve deficiencies of process semantics representation based on object modeling view and event model, an explicit representation framework of geographic process named HAS is proposed in this paper, which divides process view into 3 domains of Happenings-Actions-States to describe causes, behavioral processes and result states of process respectively. The concept of process and 3 domains definition of process are discussed, and the decomposition expressions of process/event based on temporal topology constraint, spatial topology constraint, referential constraint and conditional constraint are proposed. Besides, the modeling case, database schema and system implementation of land use change process are presented, which show that HAS is good for representation of land use change processes, and the land use management system based on HAS can recover whole land use change process by spatiotemporal queries.

Key words: TGIS; spatiotemporal process; event; causal relation; land use