

# 时空数据库概念建模工具 STXER 的研究与实现

翟小栋, 金培权, 岳丽华

(中国科学技术大学计算机科学与技术系, 合肥 230026)

**摘要:** 基于对时空语义的研究, 提出了一种兼容 ER 方法的时空概念建模方法 STXER, 论述了它的时空语义基础以及时空数据库概念建模过程, 给出了 STXER 的实现和建模实例。STXER 支持丰富的时空语义, 可以满足不同时空应用的需求。

**关键词:** 时空数据库; 时空扩展; ER 模型; 概念建模

## Research and Implementation of Conceptual Modeling Tool for Spatial-temporal Database STXER

ZHAI Xiaodong, JIN Peiquan, YUE Lihua

(Dept. of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

**【Abstract】** Based on the study on spatial-temporal semantics, an ER-compatible conceptual modeling approach to spatial-temporal database design is proposed, which is named STXER. The spatial-temporal semantics foundation and the spatial-temporal conceptual modeling procedures are discussed, and the implementation and a modeling example of STXER are presented. The STXER approach can support rich spatial-temporal semantics and thus can be used to suit different types of spatial-temporal applications.

**【Key words】** Spatial-temporal database; Spatial-temporal extended; Entity relationship model; Conceptual modeling

### 1 概述

时空数据库作为数据库领域的一个重要分支, 具有广泛的应用领域, 也受到了越来越多的关注。时空数据库应用系统(即基于时空数据库的应用系统)与传统的数据库应用系统一样, 在进行数据库设计时必须采用规范化的设计方法, 即经过数据库的需求分析、概念设计、逻辑设计、物理设计等步骤设计并实现时空数据库。当前, 已有的时空数据库研究集中于时空数据模型<sup>[1]</sup>(服务于时空数据库设计过程中的逻辑设计阶段)、时空索引<sup>[2]</sup>以及时空数据库系统实现<sup>[3]</sup>(服务于时空数据库设计过程中的物理设计阶段)。但是, 即使建立了时空数据模型和时空数据库管理系统, 要开发时空应用系统仍然面临着问题, 原因是缺乏有效的时空数据库概念设计方法与工具。传统的数据库概念设计方法如ER方法在关系数据库的设计中被广泛采用, 但ER模型并不能支持时空概念, 比如在地籍管理或者城市区划管理中, 一个地块随时间通常会产生一系列的划分、合并等变化, 而这些时空变化使用ER模型的实体、联系、属性是无法表达的。因此, 为了实现对时空应用开发的支持, 设计并实现一个支持时空数据库概念建模的CASE工具具有很重要的意义。

为了支持时空数据库概念建模, 我们提出了基于ER模型扩展并且兼容ER的STXER模型(Spatio-Temporal eXtended Entity Relationship Model)。目前, 支持复杂应用概念建模的主要途径有两类: 基于UML扩展的方法<sup>[4]</sup>和基于ER扩展的方法<sup>[5]</sup>。采用ER扩展的方法是因为ER模型在传统的数据库设计中最流行。实际上, 无论是ER还是UML, 只是存在符号差别而已, 对于时空数据库概念建模而言, 关键是时空语义的表达能力。因此, 从理论上讲, 基于ER扩展的方法和基于UML扩展的方法是可以互相转化的。

### 2 时空数据库概念建模的语义基础

为了使 STXER 模型能够很好地描述时空概念, 首先需要确定 STXER 建模中所需要的时空变化表达方法与建模符号集。

#### 2.1 STXER 支持的时空语义

STXER 支持的时空变化分为 3 种: 属性变化, 生命期, 时空拓扑。其中, 属性变化反映了时空实体的空间属性或者主题属性随时间而发生的变化, 在 STXER 中通过时空数据类型表示; 生命期反映了时空实体一级的演变过程, 主要指时空实体的创建、分裂、合并、消亡等; 时空拓扑反映了空间实体之间的空间拓扑关系的变化。

STXER 中使用的数据类型如表 1 所示。其中空间数据类型是点线面等几何图形或者它们的组合, 时态数据类型包括时刻(instant)以及时间区间(period)。时空数据类型则是随时间变化的普通数据类型或空间数据类型, 它表示了时空实体内部的属性变化。

表 1 STXER 中的数据类型

普通数据类型	空间数据类型	时态数据类型	时空数据类型
int, string, bool, real	point, line, region, circle, ellipse, composition	instant, period	st(int), st(string), st(bool), st(real), st(point), st(line), st(region), st(circle), st(ellipse), st(composition)

生命期(lifecycle)记录了一个时空实体从诞生到消亡之

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(6040302); 国家“863”重大专项基金资助项目(2004783052); 中国科学院专项基金资助项目

**作者简介:** 翟小栋(1982-), 男, 硕士生, 主研方向: 时空数据库; 金培权, 博士后、讲师; 岳丽华, 教授、博导

**收稿日期:** 2006-06-26 **E-mail:** xdzhai@mail.ustc.edu.cn

间经历的演化过程，包括创建、删除、分割、合并等。与时空数据类型表达时空实体内部属性变化不同，生命期表示了时空实体级上的时空变化。

时空拓扑关系记录了两个实体之间空间拓扑关系随时间而发生的变化。空间拓扑关系可以是相离、相遇(边界重合，但不包含)、相交、包含、完全重合等。

### 2.2 STXER 模型的时空扩展符号

STXER 模型对传统 ER 模型进行扩充，加入了表达 2.1 节中所论述的时空语义的符号，见图 1。

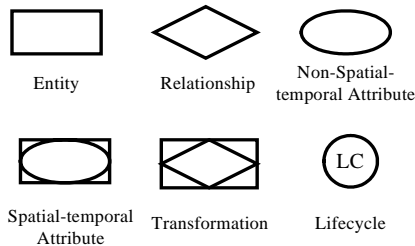


图 1 STXER 中使用的符号

图 1 中上面 3 个都是传统 ER 模型中的符号，下面 3 个则是新加入的符号。

其中 spatiotempral attribute 符号用来表示空间属性、时间属性或者时空属性，transformation 符号用来表示两个实体之间具有时空拓扑关系，lifecycle 符号表示实体具有生命期过程。

通过对传统 ER 模型的时空扩展，建模工具可以支持复杂的时空概念建模，同时它对普通的 ER 建模又是兼容的。

### 3 STXER 时空概念建模

基于上述思想，我们使用 Java 实现了一个兼容 ER 模型的时空数据库概念建模工具 STXER。STXER 工具由 3 部分组成：图形建模工具，XML 生成工具和数据库建表工具。用户可以使用图形建模工具建立起 STXER 模型，然后使用 XML 生成工具生成 XML 格式的模型元数据，即字典信息，或者使用数据库建表工具将 STXER 模型转换成特定 DBMS 中的基本表。由于对象关系数据库技术在复杂数据管理上的优势，许多时空数据库研究者都提出在对象关系数据库管理系统之上实现时空数据库系统，因此 STXER 模型的最终实现也基于对象关系数据库管理系统进行设计。具体讲，时空数据类型、生命期以及时空拓扑关系都采用对象关系数据库管理系统中的用户自定义类型(User Defined Type, UDT)来实现。时空数据类型的 UDT 标识符同表 1，生命期和时空拓扑关系类型使用标识符 mlc 和 mtf 表示。

#### 3.1 STXER 时空概念建模实例

下面以地籍管理为例说明 STXER 时空概念建模的过程。在地籍管理中，一个城市有多个区，每个区有多个地块要管理，地块有其生命期元素，地块与其所有者以及所在区都存在 N:1 关系，地块与道路存在时空拓扑关系。采用扩展 ER 的思想，使用图 1 的符号所对应的概念模型见图 2。

图 3 显示了 STXER 工具中的图形建模结果。可以看到 STXER 图形建模结果与图 2 中的结果有所不同。考虑到实际建模的效率，STXER 图形建模工具并没有完全遵照图 1 的 ER 扩展符号，而是对界面进行了简化：实体的属性直接在方框中列出，使用实线表示传统关系，虚线表示时空拓扑关系，并且在左边的树型列表中列出模型中包含的所有元素。这种简化在传统的 ER 建模工具中也处处可见，例如 ERWin、

PowerDesign 等 ER 建模工具也并不完全遵循 P. Chen 提出的原始 ER 建模符号。STXER 工具对实体以及关系的设置采用对话框的方式进行。具体实现中，整个模型定义为一个类，建模过程中便实现了对模型类对象的修改。建立的模型可以保存成 .stx 文件，同样，用户也可以打开原先保存的 .stx 文件进行修改。

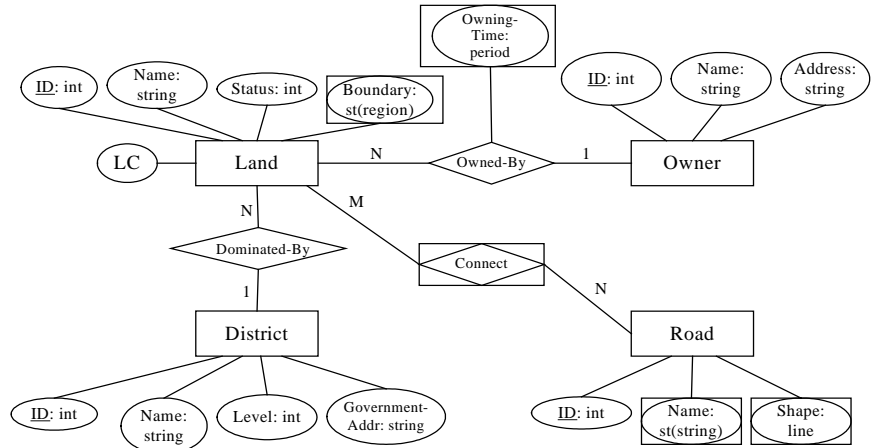


图 2 地块管理的 STXER 模型

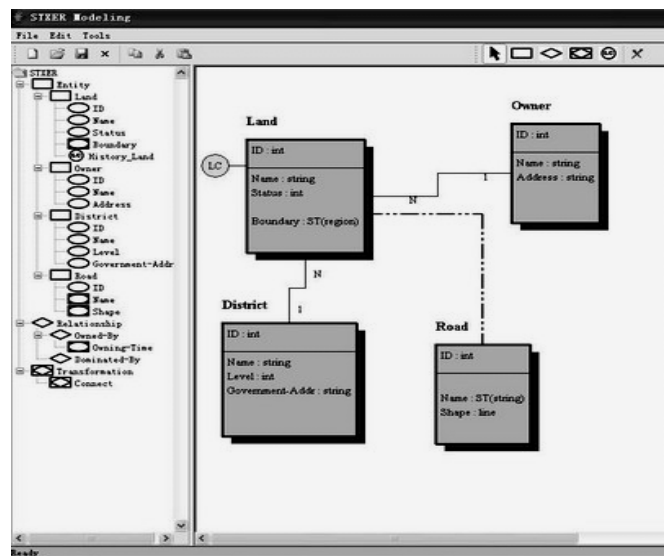


图 3 地块管理的图形建模结果

#### 3.2 基于 XML 的 STXER 模型字典信息组织

STXER 模型的字典信息采用 XML 表示。XML 是一种灵活、动态、可扩展的数据表示语言。它既提供了可自定义的易为人所理解的语义标签，又具有严格的语义形式，可被机器识别，这种数据描述机制使其成为一种通用的数据交换载体。STXER 图形建模的结果可生成 XML 文档输出，数据库建表工具也可以接受 XML 的输入并在数据库中建立数据表。

生成的 XML 文档分为 Entities、Relations 和 Transformations 3 个部分，每部分都是一个列表，列出了模型中所有的实体、传统关系以及时空关系。在上例中，Land 实体和 Connect 时空关系的 XML 表示如下。

```
<Entity EnName="Land" Lifecycle="1" >
  <PrimaryKeys>
    <PrimaryKey AttrName="ID" AttrType="int"
      AttrLength="20"/>
  </PrimaryKeys>
  <Attributes>
    <Attribute AttrName="Name" AttrType="string" />
    <Attribute AttrName="Status" AttrType="int" />
    <Attribute AttrName="Boundary" AttrType="st(region)" />
  </Attributes>
  <Lifecycle LC="LC" />
</Entity>
```

```

    </PrimaryKeys>
    <Attributes>
    <Attribute AttrName="Name" AttrType="string"
AttrLength="20"/>
    <Attribute AttrName="Status" AttrType="int"
AttrLength="20"/>
    </Attributes>
    <STAttributes>
    <STAttribute AttrName="Boundary" AttrType="ST(region)"
AttrLength="20"/>
    </STAttributes>
    </Entity>
    <Transformation TfName="Connect" EntityName1="Land"
EntityName2="Road" >
    <TfKeys>
    <TfKey KeyName="Land_ID" KeyType="int"
KeyLength="20"
    RefEntity="Land" RefAttrName="ID"/>
    <TfKey KeyName="Road_ID" KeyType="int" KeyLength="20"
    RefEntity="Road" RefAttrName="ID"/>
    </TfKeys>
    </Transformation>

```

### 3.3 STXER 与对象关系数据库管理系统之间的直接转换

用户建立了概念模型之后,往往需要在数据库管理系统上进行实现,即概念模型到逻辑模型的转换。STXER 的数据库建表工具支持当前主流的对象关系数据库管理系统产品 Informix、DB2 和 Oracle。具体过程是先与数据库管理系统进行连接,然后对模型类对象或者 XML 文档进行解析,生成该 DBMS 所支持的 SQL 建表语句脚本,最后将 SQL 脚本提交给 DBMS 来解释执行。

生成建表语句的过程中遵循一些规则。每个 Entity 均生成一个数据表,所有的非时空属性和时空属性都作为表中的字段。如果 Entity 有 Lifecycle 元素,则在该 Entity 的表中增加一个类型为 mlc 的字段。每个 Transformation 均生成一个数据表,除引用主键外,另外增加一个 mtf 类型的字段用于描述该时空拓扑关系。对于 Relationship,如果是 1:1、1:N 或者 N:1 关系,并且该 Relationship 没有自身的属性,则不再建立新表,而且在一个相关实体中增加对另一个相关实体的主键引用,此外情况均需要建立新数据表。

(上接第 78 页)

#### 参考文献

- 1 Beckmann N, Kriegel H P, Schneider R, et al. The R\*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles[C]// Proc. of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Atlantic City, NJ., 1990: 322-331.
- 2 Saltis S, Jensen C S, Leutenegger S T, et al. Indexing the Positions of Continuously Moving Objects[C]//Proc. of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Dallas, Texas. 2000: 331-342.
- 3 Tao Yufei, Papadias D, Sun Jimeng. The TPR\*-Tree: An Optimized

在上例中,选择 DBMS 为 Informix,共生成 6 个数据表,部分建表语句如下:

```

Create Table Land
( ID INTEGER Primary Key,
  Name STRING(20),
  Status INTEGER,
  Boundary STregion,
  History_Land mlc);
Create Table Owned-By
( Land_ID INTEGER foreign key(ID) reference Land(ID),
  Owner_ID INTEGER foreign key(ID) reference Owner(ID),
  Owning-Time period);
Create Table Connect
( Land_ID INTEGER foreign key(ID) reference Land(ID),
  Road_ID INTEGER foreign key(ID) reference Road(ID),
  Transformation_Connect mtf);

```

## 4 结束语

STXER 的实现为时空数据库设计提供了 CASE 工具,从数据库设计的角度保证了时空数据库的实用性,与时空数据模型、时空数据库系统实现等工作相结合,可以建立起支持时空应用的从时空数据库概念建模、逻辑建模以及物理实现的完整框架,促进时空数据库技术的进一步研究和应用。在接下来的工作中将主要对 STXER 的功能进行进一步完善,并且对时空元素的数据库表示作进一步的研究。

#### 参考文献

- 1 陈 倩,秦小麟. 时空数据库中数据建模的研究[J]. 计算机工程, 2004, 30(20): 56-58.
- 2 柳建平,杨晓宇,岳丽华,等. 一种基于 R\*-tree 的时空索引[J]. 计算机工程, 2003, 29(14): 60-62.
- 3 Jin Peiquan, Yue Lihua, Zhao Zhenxi. A General Spatiotemporal Data Model and Its Effective Implementation[C]//Proc. of the 8<sup>th</sup> Joint International Computer Conference, Ningbo, China. 2002.
- 4 Svinterikou M, Kanaroglou P. Spatio-temporal UML Methodology: Extending and Integrating Existing Object-oriented Methods to Develop Spatio-temporal Databases[C ]//Proc. of the 24<sup>th</sup> IA STED International Conference on Database and Applications. 2006.
- 5 任家东,高 伟,任东英. 时空 ER 模型的设计[J]. 计算机工程, 2003, 29(12): 77-79.

- Spatio-temporal Access Method for Predictive Queries[C]//Proc. of the 29<sup>th</sup> International Conference on Very Large Database, Berlin, Germany. 2003: 790-801.
- 4 Tao Yufei, Sun Jimeng, Papadias D. Selectivity Estimation for Predictive Spatio-temporal Queries[C]//Proc. of the 19<sup>th</sup> International Conference on Data Engineering, Bangalore, India. 2003: 417-428.
- 5 Hadjieleftheriou M. Spatial Index Library[Z]. 2006-04. <http://u-foria.org/arioh/spatialindex/>.