

对象化 BR-TIN 模型三维地理信息组织方法

李景文^{1,2}, 吕楠^{1,2}, 陆妍玲^{1,2}, 张源³, 叶良松¹

(1. 桂林理工大学 测绘地理信息学院, 广西 桂林 541004;

2. 桂林理工大学 广西空间信息与测绘重点实验室, 广西 桂林 541004;

3. 广东省国土资源测绘院, 广东 广州 510599)

摘要: 在分析边界表示法(BR)和不规则三角网(TIN)特征的基础上,采用面向对象方法将 BR 模型与 TIN 有机地结合起来,提出一种面向对象的 BR-TIN 三维数据模型.研究模型的集成过程、对象化过程、信息组织和存储过程,并将其应用到三维建筑实体表达中.实验结果表明:该模型能够实现地理实体的对象化建模和对几何特征、属性等综合信息的一体化组织,有利于实现复杂三维地理实体空间数据的有效组织与管理.

关键词: 面向对象; BR-TIN 模型; 三维数据模型; 空间信息组织; 实体建模

中图分类号: P 208

文献标志码: A

三维空间数据建模是对三维 GIS 地理实体进行数字化描述、可视化表达和三维信息一体化存储、处理及分析等研究的基础^[1-2].近年来,众多学者提出了基于四面体的三维混合数据模型^[3-4]、3DFDS 拓扑空间数据模型^[5-6]、基于单纯形剖分的拓扑空间数据模型^[7-8]、边界表示法(BR)模型^[9]等三维空间数据建模模型.基于四面体的三维混合数据模型便于三维分析和显示,但是建模数据量庞大;3DFDS 拓扑空间数据模型易实现几何特征和专题特征的关联,但不支持描述复杂地理实体信息;基于单纯形剖分的拓扑空间数据模型对三维空间地理要素拓扑关系的定向描述和定量计算能力较强,但无法表达复杂实体的纹理特征;BR 模型能够详细描述构建实体的几何形体的几何信息及几何元素的空间逻辑关系,但对外表不规则、结构复杂的三维空间对象难以描述.由于不规则三角网(TIN)的三角网格剖分技术对 BR 模型难以描述复杂空间实体对象细节信息的不足具有补充性^[10-11],本文将 BR 模型与 TIN 有机结合,构建了一种能够描述三维空间实体复杂空间关系的 BR-TIN 模型.

1 BR-TIN 三维模型构建方法

BR-TIN 模型是在对空间实体采用 BR 表示法描述的过程中,按照 BR 模型的数据结构对复杂三维空间实体进行形态分解,获取各个不同层面的点、线、面等几何元素;再通过不同层次间元素的正则布尔运算(交、差、并)和空间的几何变换(平移、旋转、缩放)等空间逻辑计算,对各类几何元素进行有效地组织和拓扑关联;利用三角网格剖分技术对模型的表面进行细节刻画,构造最小单元实体;最终聚合成为目标实体.对目标实体通过采用函数定义方法具体表示为

$$E = \bigcup_{m=1}^n e_m. \quad (1)$$

式(1)中: $l = \bigcup_{i=1}^{n+1} p_i$, $s = \bigcup_{j=1}^n (p_i, l_j)$, $e = \bigcup_{k=1}^n s_k$, p_i 为不重叠的点元素; l_j 为线元素,由 p_i 相连接构成; s_k 为面元素,由点集 p_i 和若干相互邻接的 l_j 构成; e_m 为最小单元实体,由若干相互邻接的 s_k 构成; E 为目标实体,由 e_m 聚合构成; n 为大于 0 的整数.

收稿日期: 2015-04-26

通信作者: 李景文(1971-),男,教授,博士,主要从事 GIS 理论和应用方面的研究. E-mail:lijw@glut.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41461085); 广西科学研究与技术开发计划项目(1598019-4); 广西自然科学基金重点项目(2014GXNSFDA118032); 广西桂林市科技攻关项目(20140108-2)

模型采用 TIN 面片表达方式描述空间关系,用三维空间点描述点元素,坐标 $p(x, y, z)$ 明确了空间中点的位置,两个三维空间点相互连接构成直线,进而形成线元素.点和直线段等基本元素构成了多边形和函数构造面等高级的几何要素,通过 TIN 面片对高级几何要素进一步描述形成面元素,一系列面元素的组合构成最小单元实体和目标实体.模型构建过程,如图 1 所示.

BR-TIN 模型较好地描述了三维空间实体的空间信息,有效地记录了空间实体的空间关系,但是在对复杂的地理实体描述时,增加了对地理实体几何、属性信息与空间逻辑关系一体化表达的复杂度.因此,将面向对象组织方法运用到 BR-TIN 模型的构建过程中.

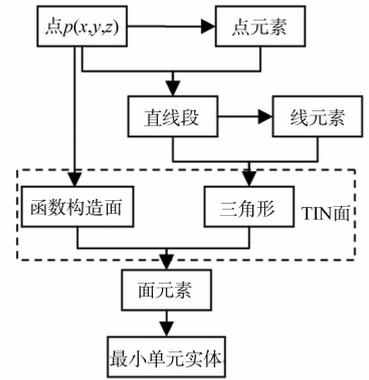


图 1 BR-TIN 三维模型构建过程

Fig. 1 BR-TIN 3D model

constructing process

2 基于 BR-TIN 地理实体信息对象化组织方法

对象化组织方法是将具有复杂地理属性的三维地理实体按照 BR-TIN 模型的要求进行分解、抽象和组织,用抽象的数据类型方式将构成地理实体的基本元素的几何特征、属性数据和基于数据的相关操作封装在属性数据类型内部,建立各元素对象之间的语义关系,采用元素对象聚合形成组合对象的信息组织方式达到信息重复利用的目的,从而降低模型数据量,最终实现地理实体信息的有效描述和组织,降低复杂三维地理实体建模的复杂度.

2.1 地理实体信息抽象表达过程

依据 BR-TIN 模型的三维建模原则,对地理实体进行对象化抽象的过程如下:通过对象化的方式对地理实体的几何特征、属性数据及相应的操作等进行封装,将实体抽象为点对象、线对象、面对象及组合对象等空间对象,每个对象都包含各自的属性、特征及地理实体的时空信息,对象之间通过对象标识 ID 建立联系.其中:点、线、面三类简单对象是对空间对象的进一步详细划分.

在模型中,将单一点对象表示为 P_i ,多个不重叠的点相连形成的线段 L_i 为单一的线对象,若干相互邻接的线对象构成的多边形 S_i 是一个面对象,若干相互邻接的面对象构成的多面体 E_i 是一个体对象.可将点对象、线对象、面对象和体对象拓扑对象集分别表达为

$$O_{\text{points}} = \sum_{i=1}^n P_i, \quad O_{\text{lines}} = \sum_{i=1}^n L_i, \quad O_{\text{surface}} = \sum_{i=1}^n S_i, \quad O_{\text{entity}} = \sum_{i=1}^n E_i. \quad (2)$$

式(2)中:单个的点、线、面、体对象可以用四元组 (ID, Ele_i, A, M) 对其进行表示, ID 是对象的唯一标识符, $Ele_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示单一点元素、线元素、面元素和体元素, $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 是属性信息集, M 是实体对象所接收的操作.因此,单一点、线、面和体对象可分别表达为

$$P_i = (ID_i, p_i, \sum_{j=1}^n A_j, \sum_{j=1}^n M_j), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$L_i = (ID_i, l_i, \sum_{j=1}^n A_j, \sum_{j=1}^n M_j), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

$$S_i = (ID_i, s_i, \sum_{j=1}^n A_j, \sum_{j=1}^n M_j), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

$$E_i = (ID_i, e_i, \sum_{j=1}^n A_j, \sum_{j=1}^n M_j), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

点、线、面、体对象集的表达式,构成了简单对象 (simple object, SO) 的内部组成.简单对象是构造地理实体的最小单元,将简单对象抽象表达为 $SO = \bigcup_{i=1}^n (\sum_{i=1}^n P_i, \sum_{i=1}^n L_i, \sum_{i=1}^n S_i, \sum_{i=1}^n E_i)$.组合对象 (combined object, CO) 是若干不同类别的简单对象的聚合,可表达为 $CO = \prod_{i=1}^n SO_i$.

2.2 地理实体信息组织过程

采用 BR 表示法将复杂地理实体抽象为三维几何形体模型,根据实体的几何特征对其表面进行分解,获得基本几何对象,并通过正则布尔运算和空间几何变换将几何对象有机地联系在一起,同时利用

TIN 表达方法对得到的单元面进行细化表达, 实现地理实体空间数据模型的构建. 在模型构建中, 将地理实体的几何数据、属性数据、操作和函数等相关信息封装在对象结构中, 每一个空间对象是独立封装的概念实体, 其形式化可描述为 $\langle \text{BR-TIN 实体模型} \rangle := \langle \text{空间实体} \rangle | \langle \text{BR-TIN 元素} \rangle \langle \text{正则布尔运算} \rangle \langle \text{BR-TIN 元素} \rangle | \langle \text{BR-TIN 元素} \rangle \langle \text{几何变换} \rangle | \langle \text{BR-TIN 元素} \rangle | \langle \text{附加特征} \rangle$. 其中: $\langle \text{空间实体} \rangle$ 是 BR-TIN 建模目标; $\langle \text{BR-TIN 元素} \rangle$ 是采用面向对象技术将实体进行分解, 组成不同层次的点、线、面元素; $\langle \text{正则布尔运算} \rangle$ 对实体进行交、差、并等操作; $\langle \text{几何变换} \rangle$ 采用平移、旋转、缩放等操作对实体进行变换; $\langle \text{附加特征} \rangle$ 是面元素 TIN 表达过程, 能够使得模型具有更强的空间实体描述的能力.

采用函数定义, 对基于 BR-TIN 对象化方法构成的三维目标地理实体 (geographical entity, GE) 具体描述为 $GE = \bigcup_{i=1}^n (SO_i, CO_i)$. 式中: GE 为目标地理实体, n 为大于 0 的整数.

在对地理实体空间信息对象化组织过程中, 将复杂地理实体采用 BR 表示法定义的点元素和线元素进行对象化得到点对象和线对象, 并与由点和线构成的面对象一起构成单元面对象. 利用三角剖分方法, 对单元面对象进行 TIN 面片表达形成几何对象. 几何对象分为简单对象和组合对象, 系列几何对象的组合构成目标实体. 信息对象化组织过程, 如图 2 所示. 图 2 中: 单元面对象是对目标地理实体对象的初级表达; 点对象和线对象是对目标地理实体对象的详尽表达.

2.3 地理实体信息存储过程

采用以 BR 的数据结构作输入的 BR-TIN 数据组织和分层存储相结合的方式, 围绕节点集合和单元集合对三角剖分的数据进行组织, 将地理实体按照 BR-TIN 模型数据结构的要求, 以对象方式将地理实体的空间几何信息和属性信息封装并存储到 Oracle Spatial 的 SDO_GEOMETRY 字段中. 其中: 节点和单元都是通过所在集合的 ID 标记, 节点包含空间位置属性, 具体分为与节点所关联的 BR 元素类型和标识, 每个结点指针指向一个对应的基本几何元素, 通过访问结点指针不仅能够访问到目标地理实体的几何特征, 还能了解目标地理实体的构建过程, 而节点附加的颜色、材质、纹理等非几何信息为模型不同属性的查询提供了查询条件.

对地理实体几何模型的点、边、环、面的数据及逻辑连接关系进行记录时, 采用单链表的数据结构, 围绕对象将实体模型的数据分层存储在 Oracle Spatial 中. 具体层次包括点、线、面和实体 4 个层次, 层次在数据库表单之间通过对象 ID 建立联系, 空间对象表的数据结构, 如图 3 所示.

3 基于 BR-TIN 模型的三维建筑实体表达

形体不规则且外表面凹凸不平的复杂建筑实体很难实现三维数字化建模, 依据 BR-TIN 模型构建原理, 通过 BR 表示法对建筑物几何结构进行分解、组织及单元面的 TIN 表达, 将建筑物抽象为构成它的基本元素, 并运用面向对象技术将元素的纹理、材质、颜色等属性信息进行封装, 形成最基本的点对象、线对象以及面对象、体对象. 点对象、线对象等基本对象采用 TIN 表示方法聚合形成 TIN 面片; 系列 TIN 面片采用空间逻辑运算构成建筑体, 从而实现基于 BR-TIN 的建筑物模型的构建, 如图 4 所示. 图 4 中: 复杂建筑物左边侧面呈垂直曲面, 右边是一顶部为圆锥状屋顶的建筑, 其表面呈锥形曲面. 根据复杂建筑实体的结构特点, 在对其进行 BR-TIN 的表达过程中, 可将其分为简单建筑对象 I 和简单建筑对象 II.

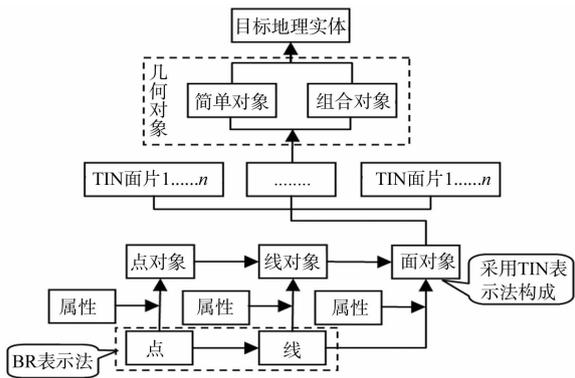


图 2 基于 BR-TIN 的三维地理实体信息组织过程
Fig. 2 Three-dimensional geographic entity information organization process based on BR-TIN

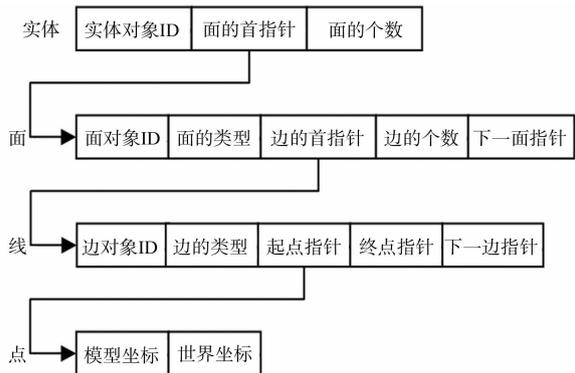


图 3 空间对象表的数据结构
Fig. 3 Date structure of space objects list

简单建筑对象 I 由一个平面屋顶、两个垂直平面侧面和一个垂直曲面侧面构成;简单建筑对象 II 由一个圆锥状曲面及其周围不规则平面共同组成的屋顶和三个垂直平面侧面构成. 针对简单建筑物 I 左侧的垂直曲面,在其上部边缘与下部边缘各提取一定密度的特征点 a_i 和 b_i ,进而构造一系列的 TIN 面片即可对其进行描述;对于简单建筑物 II 右侧屋顶的圆锥形,在其外表面上按一定密度采集若干特征点 c_i ,并以此为基础构造一系列 TIN 面片完成几何形体的模拟,再在其形体上添加相关属性进行纹理映射从而实现屋顶的完整表达;建筑物 I 和 II 的其他面均为平面区域,可直接通过采用平面多边形的三角剖分方法实现它们的表达. 其具体表达步骤,如图 5 所示.

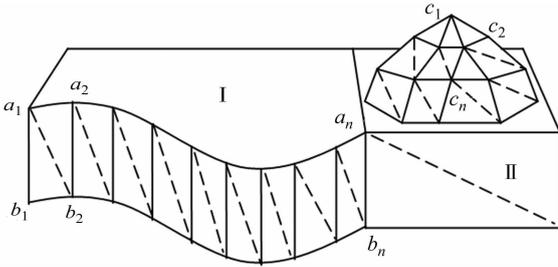


图 4 基于 BR-TIN 模型的复杂建筑物表达方法
Fig. 4 Expression of complex buildings based on BR-TIN model

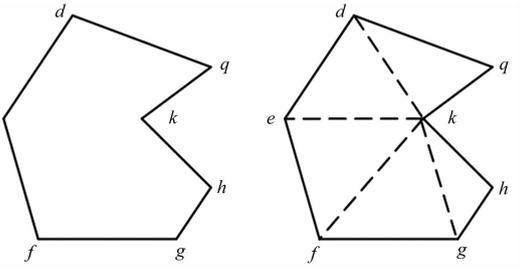


图 5 平面多边形 TIN 表达方法
Fig. 5 Expression of TIN method for polygon

计算多边形 $defghkq$ 所有的内角角度,从最小的内角 $\angle q$ 开始构造 TIN 面片,当边 dk 与边界不重合时,连接边 dk 形成三角 abc ,同时生成新的多边形 $defghk$. 依次类推,最终完成平面多边形的 TIN 表达. 其中,内角角度通过计算方位角差的方法获得. 设点 d, e 的坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$, S 为线段 dq 的长度, A_{qd} 为点 q 至点 d 的坐标方位角,则

$$S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \tag{7}$$

$$A_{qd} = \arccos\left(\frac{x_2 - x_1}{S}\right). \tag{8}$$

若 A_{qd} 为负,则 $A_{qd} = A_{qd} + 360^\circ$. 同理可得 A_{qk} , 即

$$\left. \begin{aligned} \angle q &= A_{qd} - A_{qk}, & A_{qd} > A_{qk}, \\ \angle q &= A_{qd} - A_{qk} + 360^\circ, & A_{qd} < A_{qk}. \end{aligned} \right\} \tag{9}$$

在基于 BR-TIN 的复杂三维建筑实体信息组织方法中,为了描述结构边界,需要将简单建筑物分为楼顶和墙面两类进行三角剖分,并分类存储. 采用单链表的数据结构对建筑实体几何模型的点、边、环、面的数据及逻辑连接关系进行记录,分层存储在 Oracle Spatial 中,不同的层次在数据库表单之间通过对象 ID 建立联系. 基于 BR-TIN 的建筑空间对象表的数据结构,如图 6 所示. 其中,通过访问结点指针不仅能够访问到建筑实体的几何特征以及颜色、材质、纹理等非几何信息,还能了解建筑实体的构建过程.

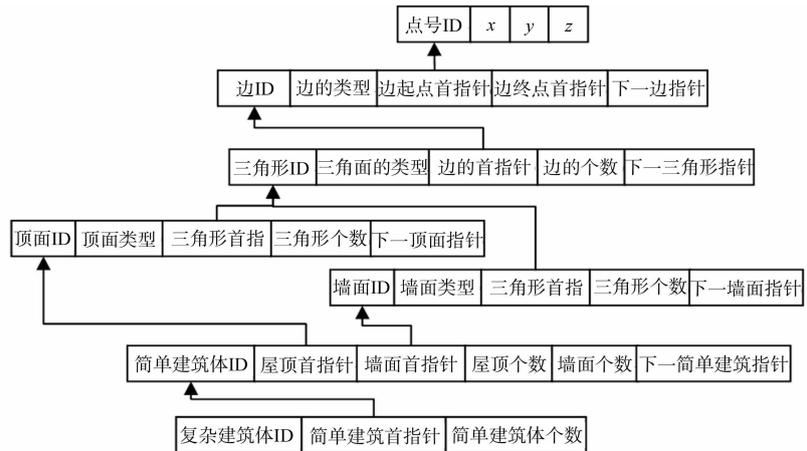


图 6 基于 BR-TIN 的复杂建筑空间对象表的数据结构
Fig. 6 Date structure of complex building space objects list based on BR-TIN

4 结束语

对象化 BR-TIN 三维数据模型将复杂对象的几何特征、属性数据和操作等相关要素嵌入到模型的信息组织过程中,全面、详细地描述了地理实体的三维空间信息,并实现了对复杂地理实体信息的组织,解决了对具有复杂几何形态特征的不规则地理实体进行几何形体和逻辑关系一体化的模型表达问题.

模型采用简单构件聚合成组合实体的方法重复利用信息,从而简化了数据管理方式、降低了模型数据量,并通过对象化描述降低了模型构建的复杂度;同时,利用网格信息刻画了地理实体的几何特征和颜色、材质、纹理等非几何信息。该模型可以运用到城市建筑物、非规则地理实体等复杂地理实体信息的组织过程中,解决建筑、地形、水系、桥梁等复杂地理实体的模型表达问题,为复杂地理实体信息的组织、管理和描述提供一种新方法。

参考文献:

- [1] 吴德华,毛先成,刘雨. 三维空间数据模型综述[J]. 测绘工程,2005,14(3):70-73.
- [2] 毕硕本,张国建,侯荣涛,等. 三维建模技术及实现方法对比研究[J]. 武汉理工大学学报,2010,32(16):26-30.
- [3] 徐则中,庄燕滨. 三维建模系统的综述[J]. 测绘通报,2008(2):16-19.
- [4] 吴慧欣,薛惠锋. 基于块段模型的三维 GIS 混合数据结构模型研究[J]. 计算机应用研究,2007,24(10):273-275.
- [5] 王继周,李成名,林宗坚,等. 三维 GIS 的基本问题与研究进展[J]. 计算机工程与应用,2003(24):40-43.
- [6] 符海芳,朱建军,崔伟宏. 3D GIS 数据模型的研究[J]. 地球信息科学,2002(2):45-49.
- [7] 上官宁,刘斌. 三角网格模型特征线提取方法[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2010,31(5):487-490.
- [8] 郑坤,负新莉,刘修国,等. 基于规则库的三维空间数据模型[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2010,35(3):369-374.
- [9] 孙锐. 边界表示实体模型简化方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2010:4-7.
- [10] 王华军. 三角网自动连接的聚焦算法[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2005,26(2):199-202.
- [11] MAARTEN L, JACK S. Delaunay triangulation of imprecise points in linear time after preprocessing[J]. Computational Geometry: Theory and Applications, 2010, 43(2):234-242.

An Organization Method for 3D Geographic Information Based on an Object-Oriented BR-TIN Model

LI Jing-wen^{1,2}, LYU Nan^{1,2}, LU Yan-ling^{1,2},
ZHANG Yuan³, YE Liang-song¹

(1. College of Geomatic Engineering and Geoinformatics, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Spatial Information and Geomatics, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

3. Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department of Guangdong Province, Guangzhou 510599, China)

Abstract: Based on analyzing the characteristics of the boundary representation (BR) and triangulated irregular network (TIN), by combining the BR and TIN, an object oriented BR-TIN model is presented. This paper aims to study the processes of integration, objectification, organization and storage of the model, and apply it to 3D architectural expression. The experimental result showed that the model could realize an object modeling of geographical entities, and it took geometric features, property information and sense relations together in order to realize the effective organization and management of the complex 3D geographical space data.

Keywords: object-oriented; BR-TIN model; 3D date model; spatial information organization; solid modeling

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:吴逢铁)