

# 基于四叉树的矢量数据变化捕捉方法研究\*

夏永华, 张新长, 杜国明, 郭泰圣  
(中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** 对传统的历遍要素变化捕捉方法进行改进, 提出了基于四叉树的矢量数据变化捕捉方法。该方法利用四叉树的空间索引原理, 对新旧图层进行四叉树分割, 计算分割区域内新旧要素的“点-弧段”变化特征, 以此确定分割区域的变化情况, 并进行迭代运算, 从而过滤出不变区域, 快速定位至变化区域。实验结果表明: 该方法计算速率较高, 能够准确快速地识别出变化信息, 与传统历遍要素变化捕捉的方法相比, 更有助于提高GIS数据库更新的效率。

**关键词:** 变化捕捉; 四叉树; 增量式更新

**中图分类号:** P208 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2013)06-0006-05

## Research on Change Detection of Vector Data Based on Quad-Tree

XIA Yonghua, ZHANF Xinchang, DU Guoming, GUO Taisheng

(School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Incremental updating is one of the most frequently used methods in spatial databases updating and the detection of changed objects is the crucial technology. Change detection is of great significance for improving the efficiency of spatial database updating. This paper refines the object-traversing method and proposes a new change detection method based on quad-tree. Considering the principle of spatial index, this method divides the region of the corresponding layers based on quad-tree. By calculating the vertex-edge changed index of the objects in the region, this method can evaluate the changed situation of the region. The method can filter out the unchanged areas and rapidly locate the change areas in an iterative way. The experimental result showed that this method can reach high computational efficiency and properly recognize the change information. Comparing with the traditional change detection algorithm, this method can improve the efficiency of GIS database updating significantly.

**Key words:** change detection; quad-tree; incremental updating

我国基础地理数据库建设取得了巨大成绩, 为各类GIS应用工程提供了多比例尺的地理空间数据<sup>[1]</sup>。然而, 随着空间数据建设的逐步完成, 人们逐渐意识到空间数据更新将代替空间数据获取成为地理信息系统建设的瓶颈<sup>[2]</sup>, 当前地理信息系统研究的核心已从数据生产转移到数据的更新, 数据更新关系着地理信息系统的可持续发展<sup>[3]</sup>。

空间数据库的更新模式一般包括增量式更新和版本式更新<sup>[4]</sup>。由于空间数据具有数据结构复杂,

数据量大的特点。采用增量式更新, 能够节省硬盘存储, 提高更新效率, 对历史数据进行有效的管理。增量式更新以其方式灵活而且能够更好的保证空间数据的现势性的优点, 是未来空间数据库更新的主要趋势<sup>[5]</sup>。空间数据的变化捕捉过程是空间数据库进行增量式更新的首要环节<sup>[6-7]</sup>, 也是近年来学术界研究的重点<sup>[8]</sup>, 其精度和效率直接影响了数据库更新的精度和效率。

目前主要的变化捕捉方法有快照差分法、时间

\* 收稿日期: 2013-03-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41071246); 高等学校博士点专项基金资助项目(20120171110030)

作者简介: 夏永华(1989年生), 男, 研究方向: 城市地理信息系统; 通讯作者: 张新长; E-mail: eeszc@mail.sysu.edu.cn

戳法、触发器法、日志法、API法等<sup>[9-11]</sup>。近年来，基于快照差分法的变化捕捉方法成为空间数据库领域更新的主流，涌现了一系列的研究成果。文献[12]对空间实体关系进行研究分析，根据Egenhofer九交模型，提出基于自定义空间关系的空间查询方法，进行要素变化检测。徐凯等<sup>[13]</sup>提出基于空间索引的搜索方法，利用基于规则网格的空间索引和基于对象的R树家族索引进行对象匹配，进行变化信息检测。而基于要素缓冲区叠加分析进行搜索匹配的方法则是目前领域应用中最为普遍的方法。然而这些变化检测方法一般采用要素遍历的方法，对于大范围、多地物的矢量数据用遍历法的运算量很大，搜索效率低下，不能满足实际的数据更新要求。本文在分析要素历遍缓冲区叠加分析的基础上，根据实际的工程化需求，提出基于四叉树的变化捕捉方法，提高空间数据更新的效率。

## 1 缓冲区叠加分析变化捕捉机制研究

空间数据具有空间特征和属性特征，通过要素历遍，比较新旧版本要素的空间特征和属性特征，采用几何匹配的方法来对比新旧版本要素的要素变化情况<sup>[14]</sup>。根据匹配要素的结果要素变化类型可分为：新增、删除、几何信息修改、属性信息修改、分解、合并、聚合<sup>[15]</sup>。具体关系如图1。

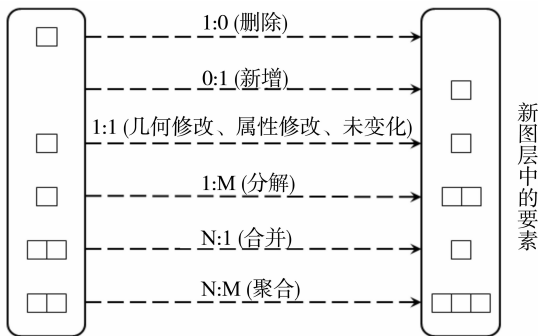


图1 要素匹配和变化类型之间的关系

Fig. 1 Relation between feature matching result and change type

缓冲区分析是地理信息系统重要和基本的空间操作功能之一。它是在给定空间对象或集合周围建立一定距离（缓冲半径）的多边形实体，以确定这些物体对周围环境的影响范围或服务范围<sup>[16]</sup>。对不同类型的目标实体，所产生的缓冲区也不同。叠加分析则是地理信息系统最常用的提取空间隐含信息的手段之一。空间叠加分析是指在统一的空间参照系统条件下，把分散在不同层上的空间信息按

相同的空间位置叠加到一起，产生新的特征（新的空间图形或空间位置上的新属性）的分析方法<sup>[17]</sup>，其结果综合了原来两层或多层地图要素所具有的属性。

通过对旧图层要素进行遍历，建立旧要素缓冲区，并以此和新图层进行叠加分析，从而找到该旧要素的可能匹配的候选集，即利用旧要素的缓冲区，判断目标要素是否位于缓冲区内，如是，则将目标要素作为源要素的候选匹配要素，实现旧要素的粗匹配。并进一步进行要素精匹配，从而判断旧要素变化类型。具体算法思路如下：

1) 历遍旧图层要素，建立原要素的缓冲区，并通过空间查询搜索与该要素缓冲区重叠的新要素。若搜索结果为空，则旧要素变化类型为1:0（删除）的情况。

2) 若搜索结果存在要素集，则历遍要素集，建立的新要素的缓冲区，并搜索其区域重叠的旧要素图层，并比较匹配要素的属性信息，反复进行则可以判定旧要素变化类型为1:1（几何修改、属性修改、未变化），1:M（分解），N:1（合并），N:M（聚合）的情况。

3) 历遍新图层要素，建立新要素的缓冲区（buffer），并搜索出与原要素无任何区域重叠的新要素。则为0:1（新增）的情况。

该算法思路简单直观、易于理解，且精度较高，能够准确的搜索出新旧版本图层的要素变化信息，确定要素的变化类型，建立精度较高的增量要素集，为后续数据更新打下基础。然而该算法要求对新旧图层的所有要素进行多次要素历遍，运算量较大，使得更新效率较低，速度较慢，对硬件配置需求较高，并不能满足工程化数据更新对于更新效率的要求。

## 2 基于四叉树的变化捕捉方法研究

增量式更新侧重获取数据变化的增量信息，对图层区域中不变区域进行历遍要素搜索匹配降低了增量信息提取的效率。在进行历遍要素搜索匹配之前，过滤掉不变区域会极大的提高变化捕捉的效率。本文结合实际，提出一种基于四叉树的变化捕捉方法，根据四叉树原理，对图层进行四叉树剖分，计算区域内的“节点-弧段”特征<sup>[18]</sup>，并进行层次检索，以快速定位到变化区域，再对该区域内的要素进行历遍要素搜索匹配，确定其变化类型。从而大大减小历遍要素次数，缩减计算量，提高变化捕捉的效率。

基于四叉树的变化捕捉算法思路:

1) 把更新数据中的所有对象集合的最小外接矩形区域作为四叉树的根节点。

2) 计算区域内的空间要素的变化情况, 要素的节点数与弧段数可以快速获取, 并对区域变化特征具有标识作用。因此, 本文结合要素的节点与弧段树, 提出区域要素变化特征评估模型:

$$F(P_f, N_f) = J(P_v, N_v)\alpha_1 + H(P_e, N_e)\alpha_2 \quad (1)$$

$$J(P_v, N_v) = \frac{|Jcnt(N_v) - Jcnt(P_v)|}{Jcnt(N_v) + Jcnt(P_v)} \quad (2)$$

$$H(P_e, N_e) = \frac{|Hlen(N_e) - Hlen(P_e)|}{Hlen(N_e) + Hlen(P_e)} \quad (3)$$

式 (1) 中,  $P_f, N_f$  分别为该区域范围内原数据和更新数据的集合,  $F(P_f, N_f)$  可反映要素的整体变化情况。 $N_v, P_v$  是新旧要素的结点集合。 $N_e, P_e$  为相应的新旧弧段集合, 也可表示为面图层的边界弧段集合。 $J(P_v, N_v)$  和  $H(P_e, N_e)$  分别用于表示区域内新旧数据集的节点数与弧段长度的变化情况。 $\alpha_1, \alpha_2$  表示结点变化指标与弧段变化指标所占的权重, 取值在 0-1 之间且  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ 。对于点图层, 由于无法计算弧段特征, 故  $\alpha_2$  设为 0。式 (2) 中, 节点集的总数量通过函数  $Jcnt()$  来计算, 式 (3) 中弧段集的总长度通过  $Hlen()$  计算。

3) 判断区域内数据是否发生变化。若  $F(P_f, N_f)$  的计算结果大于 0 说明该区域存在明显的变化信息, 需要进行分割。分割的方法为: 分别提取区域内新旧要素重心的  $X, Y$  坐标, 并计算其均值  $PXa, PYa, NXa, NYa$ 。以点  $((PXa + PYa)/2, (NXa + NYa)/2)$  为中心沿  $X$  轴,  $Y$  轴方向把原区域划分为 4 个子区域。

4) 重复执行步骤 2)、3), 直到划分区域内的要素数目少于阈值为止。结束剖分后, 记录区域范围及所包含的对象, 以备进行下一步对象的匹配。如图 2

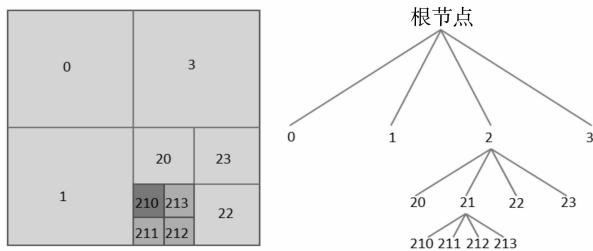


图 2 四叉树变化捕捉原理

Fig. 2 The principle of change detection on quad-tree

5) 根据检索出的变化区域, 采用缓冲区叠加分析的方法进行搜索匹配, 进行变化捕捉, 确定要素变化类型。具体流程如图 3。

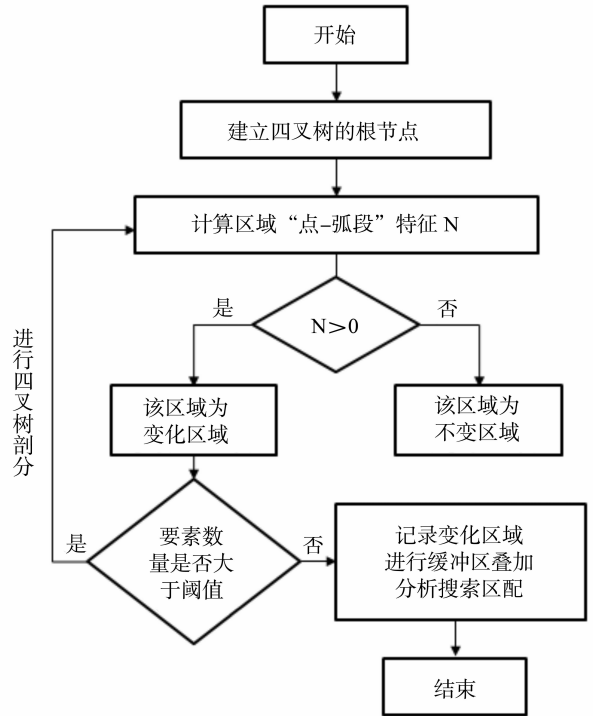


图 3 基于四叉树的变化捕捉算法流程图

Fig. 3 The flowchart of change detection based on quad-tree

该算法结合对象节点数和弧段长度作为指标快速检测变化区域, 利用四叉树索引原理, 对更新数据进行分割, 有助于数据的分步式并行处理, 可以迅速定位变化区域。在数据量较大的矢量数据更新中, 减少运算量和内存占用量, 提高变化捕捉效率, 以满足工程化数据更新对于硬件配置和更新效率的需求。

### 3 实验结果及分析

为验证算法实现效率, 本文在 Window 系统下, 利用 Visual Studio 2008 开发平台, 集成 ArcEngine9.3 进行二次开发。系统分别实现要素遍历和四叉树变化捕捉两种算法, 以增城市 1:2 000 矢量地形图为例数据, 对比两种算法的更新效率。如图 4。

实验选取点、线、面三种不同的几何类型的地形图数据进行实验, 分别进行要素遍历缓冲区叠加分析变化检索和四叉树变化捕捉实验, 对比其消耗时间。实验结果如表 1 所示。

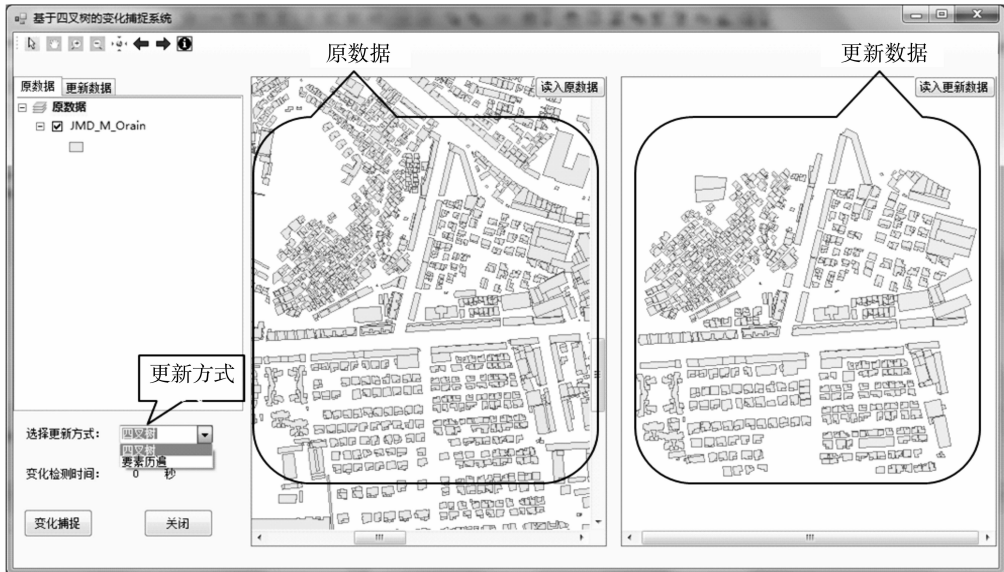


图 4 基于四叉树的变化捕捉实验

Fig. 4 An experiment of change detection based on quad-tree

表 1 变化捕捉实验对比结果

Table 1 Experimental results and comparison of change detection

方法	几何类型	更新要素个数	平均计算时间/s
历遍要素检索	点	560	89
四叉树变化捕捉	点	560	13
历遍要素检索	线	1 176	327
四叉树变化捕捉	线	1 176	62.9
历遍要素检索	面	983	276.54
四叉树变化捕捉	面	983	57.63

实验结果表明，四叉树变化捕捉方法可以大幅度提高变化信息的检测效率。矢量数据的属性信息是存储在二维表中，相对空间信息来说，较为容易检索获取，在对区域的“点-弧段”变化特征进行计算时速度较快，能迅速定位至变化区域。在接下来的缓冲区叠加分析搜索匹配中，由于只对变化区域进行要素搜索匹配，从而使得整个变化捕捉过程效率得到大幅提高。对于点要素，由于只需要计算节点的数目变化情况，无需衡量弧段的长度变化情况。因此，计算效率提高得最明显。对于线要素和面要素由于减少了对不变数据的搜索匹配与指标计算，运算效率也有大幅度的提高。特别是对于变化率较小的区域，算法的效率提高更明显。在更新精度上，由于四叉树变化捕捉在计算“点-弧段”变化特征时仅从几何信息上进行比较，忽略了几何信息不变而属性信息变化的情况，同时也忽略部分因矢量要素位移或旋转等变化类型而使“点-弧段”不变的情况，使更新精度略低。

## 4 结论与展望

本文在分析要素历遍变化捕捉方法的基础上，从实际的空间数据更新需求出发，提出了基于四叉树的变化捕捉方法。该方法通过“点-弧段”变化特征计算，进行四叉树分割快速定位到变化区域，使变化检测更具有针对性，从而提高变化捕捉效率，满足工程化数据更新的要求，为 GIS 的数据动态更新提供有效的解决思路。最后通过开发系统对该理论方法进行实现，结合实际更新数据进行试验。试验结果也证明了该方法相比较于传统的更新方式能大幅度够提高变化捕捉的效率。

存在问题及下一步展望：四叉树变化捕捉方法在计算变化特征时会忽略部分几何信息不变而属性信息变化的要素，造成精度略低，其次，部分要素由于发生位移或旋转变化而导致区域的“点-弧段”特征没有发生改变，从而忽略这种变化类型。另外，在要素搜索匹配中 N:M 的类型中，空间分割容易造成新旧要素处于不同的空间区域，影响更新结果。因此，下一步的研究工作包括：① 添加对属性信息变化的检测，考虑部分几何信息不变而属性信息变化的要素，提高变化捕捉的精度。② 更为严密的考虑要素的变化类型。研究对于要素位移或旋转等变化类型的有效检测方法，从而提高变化捕捉的准确度。③ 改进变化区域的分割方法，把具有集聚特征的新旧要素更有效地划分在同一区域，减少区域边界对变化捕捉的影响。

## 参考文献:

- [1] 陈军. 论数字化地理空间基础框架的建设与应用[J]. 测绘工程, 2002, (03): 1-6.
- [2] UITERMARK H T, VAN OOSTEROM P J M, MARS N J I. Propagating updates: Finding corresponding objects in a multi-source environment [C]// Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Data Handling, Vancouver, Canada, 1998:580-591.
- [3] FRITSCH D. GIS data revision-vision and reality [C]// Note speech in joint ISPRS commission workshop on dynamic and multi-dimensional GIS. Beijing:NGCC,1999.
- [4] 熊湘琛, 张新长, 曹凯滨. 城市基础地形数据增量更新研究[J]. 测绘通报, 2009, (03): 24-26.
- [5] 孙英杰. 基于变化信息文件的增量更新方法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2008.
- [6] 李德仁. 利用遥感影像进行变化检测[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2003, (S1): 7-12.
- [7] 张剑清, 朱丽娜, 潘励. 基于遥感影像和矢量数据的水系变化检测[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2007, (8): 663-666.
- [8] 张新长, 郭泰圣, 唐铁. 一种自适应的矢量数据增量更新方法研究[J]. 测绘学报, 2012, 41(4): 613-619.
- [9] 钟巧华. 数据仓库的数据抽取技术研究[J]. 计算机工程, 2004, (S1): 62-63.
- [10] 章水鑫, 徐宏炳, 于立. 增量式 ETL 工具的研究与实现[J]. 现代计算机:专业版, 2005, (03): 6-10.
- [11] 刘伟, 佟俐鹃. 异构数据库集成中的变化捕获方案设计[J]. 计算机应用研究, 2005, (07): 213-215.
- [12] 吴建华, 傅仲良. 数据更新中要素变化检测与匹配方法[J]. 计算机应用, 2008, (06): 1612-1615.
- [13] 徐凯. 基于网格索引的几何匹配算法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [14] 万远, 李霖, 应申. 地理信息数据变化检测系统的研究与实现[J]. 计算机工程, 2010, (09): 4-6+13.
- [15] 王育红, 陈军. GIS 客户数据库更新的基本问题[J]. 地理信息世界, 2008, (01): 5-12.
- [16] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2012, 153.
- [17] 黄杏元, 马劲松, 汤勤. 地理信息系统概论[M]. 修订版. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [18] CHENG C, LU F, CAI J A. Quantitative scale-setting approach for building multi-scale spatial databases[J]. Computers and Geosciences, 2009, 35(11): 2204-2209.
- [4] SAITO T, TORIWAKI J. New algorithms for euclidean distance transformation of an n-dimensional digitized picture with applications[J]. Pattern Recognition, 1994, 27(11): 1551-1565.
- [5] FABBRI R, COSTA L D F, TORELLI J C et al. 2D Euclidean distance transform algorithms: A comparative survey[J]. ACM Computing Surveys, 2008, 40(1): 1-44.
- [6] 陈岐. 完全欧几里德距离变换的最优算法[J]. 计算机学报, 1995, 18(8): 611-616.
- [7] 王钰旋, 李文辉, 庞云阶. 基于围线追踪的完全欧氏距离变换算法[J]. 计算机学报, 1998, 21(3): 217-222.
- [8] 任勇勇, 潘泉, 张绍武, 等. 基于围线分层扫描的完全欧氏距离变换算法[J]. 中国图像图形学报, 2011, 16(1): 32-36.
- [9] LUCET Y. New sequential exact Euclidean distance transform algorithms based on convex analysis [J]. Image and Vision Computing, 2009, 27(2): 37-44.
- [10] 徐达丽, 任洪娥, 徐海涛, 等. 基于链码技术的距离变换改进算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(25): 176-178.
- [11] 陆宗骥, 朱煜. 用带形状校正的腐蚀膨胀实现 Euclidean 距离变换[J]. 中国图像图形学报, 2010, 15(2): 294-300.
- [12] GUSTAVSON S, STRAND R. Anti-aliased Euclidean distance transform [J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(2): 252-257.
- [13] 郭仁忠. 空间分析[M]. 武汉测绘科技大学出版社, 2000.
- [14] LANTUEJOU C, MAISONNEUVE F. Geodesic methods in quantitative image analysis[J], Pattern Recognition, 1984, 17(2): 177-187.
- [15] PIPER J, GRANUM E. Computing distance transformations in convex and non-convex domains [J]. Pattern Recognition, 1987, 20(6): 599-615.
- [16] COEURJOLLY D, MIGUET S, TOUGNE L. 2D and 3D visibility in discrete geometry: an application to discrete geodesic paths[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(5): 561-570.
- [17] CÁRDENES R, ALBEROLA-LÓPEZ C, RUIZ-ALZOLA J. Fast and accurate geodesic distance transform by ordered propagation [J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(3): 307-316.
- [18] 张青年. 一种顾及障碍物的欧氏距离变换方法[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2013, 52(1): 130-135.

(上接第 5 页)