

一种基于动态格网模型的新型空间目标捕捉算法的设计与实现

黄科佳^{1,2}, 左 尧¹, 李绍俊¹, 钟耳顺^{1,3}, 宋关福^{1,3}, 刘永轩⁴

(1. 北京超图软件股份有限公司, 北京 100015; 2. 北京航空航天大学, 北京 100191;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 北京市测绘设计研究院, 北京 100038)

摘 要: 空间数据捕捉是地图制图、空间数据编辑中的一个重要的功能。快捷、高效的空间数据捕捉算法可极大地提升空间数据编辑的效率, 减少时间成本。目前常用的空间查询捕捉算法往往算法复杂, I/O 操作频繁, 增加了计算资源的消耗, 降低了运行效率。针对这些缺点, 本文提出了一种新型的空间目标动态捕捉算法。该算法建立一种自适应性和动态性的格网索引机制, 该机制基于区域变化提取新格网, 用新格网对原有数据和新数据进行提取, 并把提取结果反映到新的四叉树格网索引中, 实现索引数据动态更新。通过实验对比, 我们发现该算法在缩短捕捉时间、提高矢量点线面捕捉精度方面非常有效, 且捕捉稳定性较高, 极大地提高了外业采集人员和数据处理人员的工作效率。

关键词: 动态格网模型; 空间数据捕捉; 目标捕捉

中图分类号: P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-5867(2018)03-0065-03

A Spatial Target Acquisition Algorithm Based on Dynamic Grid Model

HUANG Kejia^{1,2}, ZUO Yao¹, LI Shaojun¹, ZHONG Ershun^{1,3}, SONG Guanfu^{1,3}, LIU Yongxuan⁴
(1. SuperMap Software Co., Ltd., Beijing 100015, China; 2. Beihang University, Beijing 100191, China;
3. Institute of Geographic Sciences and Nature Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;
4. Beijing Institute of Surveying and Mapping, Beijing 100038, China)

Abstract: Modern Spatial data capture is an important function in mapping and spatial data editing. With the help of the spatial data capture algorithm, it can greatly enhance the efficiency of spatial data editing and reduce the time cost. At present, the commonly used spatial query and capture algorithm is often complicated and the I/O operation is frequent. This will increase the consumption of computing resources and reduce the running efficiency. In view of this shortcoming, this paper proposes a new space target dynamic capture algorithm. The algorithm establishes an adaptive and dynamic grid indexing mechanism, which extracts new grid based on regional change, extracts the original data and new data with the new grid, and reflects the extracted results to the new quad-tree index, the index data is dynamically updated. Through the experimental comparison, we find that the algorithm is very effective in shortening the capture time and improving the tracking accuracy of the vector point line surface, and improving the stability of capturing, which greatly improve the field acquisition and data processing personnel work efficiency.

Key words: dynamic grid model; spatial data capture; target capture

0 引 言

随着计算机技术的不断进步, 描述客观世界的地理空间数据呈爆炸式增长。近年来, 我国开展了多项大规模、高精度、多尺度的土地国情调查、土地资源分类、数字

城市建设等项目, 获取了大量的测绘数据和地理空间数据, 这些数据的数据量均可达 10 GB, 一些测绘部门的地图空间数据库甚至可达百 GB 甚至 TB 级。面对这些海量的地理空间数据, 如何高效、准确地进行编辑处理成为一个复杂的问题^[1-6]。

收稿日期: 2017-03-13

基金项目: 跨平台室内 GIS 关键技术研究(2016YFB0502004); 国家测绘公益项目(201512015); 北京市科技专项(Z151100003615012, Z141101004414011); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-07-01-001); 国家科技支撑计划(2013BAC03B00) 资助

作者简介: 黄科佳(1992-), 男, 安徽滁州人, 软件质量管理与测试专业硕士研究生, 主要研究方向为地理信息系统软件技术。

1 研究进展

在地图数据编辑操作中,对象捕捉是一种较为常用的技术和手段,使用对象捕捉可快速、有效地对数据进行更改和处理。捕捉过程可以看作是一个寻找最优点的过程,这个最优点可以是距离鼠标点最近的节点、交点、垂点或者切线圆心等。目前,通用的空间对象捕捉算法在进行地图交互时,先确定当前地图可见范围和所有可见图层,再根据当前交互的像素坐标位置,通过坐标转换得到地理坐标,将地理坐标分别按照捕捉类型的计算算法构造不同的空间查询对象^[1,3]。常见的点捕捉方法有平方根距离法、绝对值距离函数、多边形框选法,还有铅垂线法、夹角求和法等;线状要素的选取通常从弧段上任意一点出发,然后通过距离平方根来找出弧段对应的数据;而面状要素的选择通常首先基于铅垂线法判断选取的点是否落在多边形内,从而从空间数据库中查找出该多边形。这些算法都存在一定的不足,如精度低、耗时长、计算量大等问题。

实际应用方面,许多学者为了提高空间数据捕捉效率进行了诸多探索,如吴磊、黄先锋等实现大量 GIS 数据的快速捕捉,由于海量数据捕捉的复杂性,对数据库的频繁访问将大大降低捕捉效率,因此他们基于传统捕捉算法,通过建立本地缓存和数据精简的方法,显著地提高了 GIS 数据捕捉效率^[5]。而最近比较流行的空间格网划分技术为空间对象的捕捉带来了新的思路。如孟妮娜、周晓东提出了一种固定格网划分的空间索引技术,从空间对象的位置和分布情况考虑,较为高效地实现了空间索引捕捉算法^[2]。同样地,陶晓丽、张志华等基于格网索引的点目标捕捉算法,通过对点群进行格网划分,建立空间索引,从而实现了高效率的空间捕捉^[4]。空间格网划分技术按照固定距离的格网对地图进行分割,对落入各个格网中的 GIS 空间数据建立索引,它是一种空间索引技术,优点在于提高了检索速度,缺点是随着格网划分精度加大,冗余也越来越大,因此合理的格网划分距离至关重要。

基于上述情况,本文提出了一种基于动态格网模型的多种目标捕捉算法,它是一种具有自适应性和动态性的格网索引机制,该机制基于区域变化提取新格网,用新格网对原有数据和新数据进行提取,并把提取结果反映到新的四叉树格网索引中,实现索引数据动态更新。我们通过结合内存索引技术,设计了完整的格网索引和点串集合索引数据结构,能够高效率地进行点、线、沿线、延长线等多目标捕捉操作。此外,我们还基于 C++ 语言实现了该算法的内核结构,并封装到 Windows、Android 和 IOS 平台之中,通过实验对比,表明本算法捕捉效率较高、细节清晰、操作流畅,极大地提高了地理空间对象捕捉效率。

2 空间目标捕捉算法的设计与实现

2.1 算法设计

本算法基于四叉树结构和格网索引规则,规则地将

二维数据划分为 2 的 n 次方 (2^n) 个网格区域,并将得到的 2^n 个网格区域按照四叉树存储结构建立空间索引模型,每个四叉树存储项保存当前范围和 4 个子项范围,每个网格索引项存储了全部落入或部分落入该网格的空间要素集合,网格索引项可根据区域范围变化自适应更新数据达到动态自平衡,通过网格内的空间要素集合进行目标的捕捉,如图 1 所示。

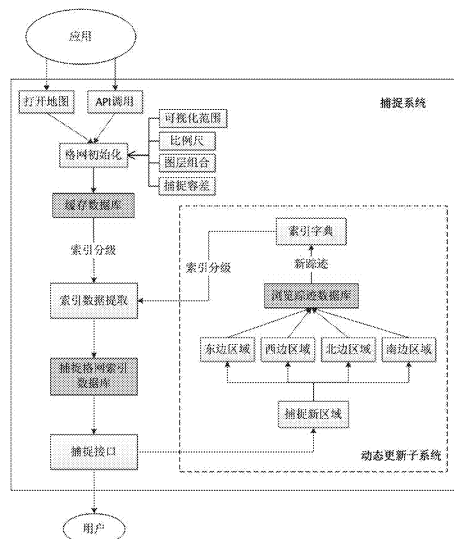


图1 基于动态格网模型的空间目标捕捉实现模型

Fig.1 Realization of space target capture based on dynamic grid model

2.2 算法流程

本文提出的算法基于四叉树索引结构以及格网索引规则,能够自适应更新格网数据,并且支持实时目标捕捉,我们从动态格网建模、基于格网实时捕捉、格网自适应更新 3 个方面具体介绍算法的实现流程。算法流程如图 2 所示。

1) 动态格网模型建立

当系统应用启动后,捕捉系统记录当前地图信息,并且开始格网初始化。首先,划分出一级网格索引区域,得到 2 的 n 次方 (2^n) 个小正方形网格区域,每个网格存储全部落入或部分落入该网格的空间对象的抽稀点串和外接矩形,每个网格区域作为一个索引项。然后,将这些一级网格索引项建立四叉树索引模型,从最开始一个网格每次分为 4 个子网格,依次划分子网格,直到划分出 2^n 个子网格为止,四叉树索引项仅存储当前网格范围和子网格范围,而叶子网格存储空间对象,通过四叉树划分法建立的分级索引机制,可以在最短时间内确定小正方形捕捉区域。

2) 基于格网模型实时捕捉

算法在地图交互时,传入交互点坐标 (x_1, y_1) 。首先,将当前可见的所有图层数据,从空间数据库查询得到,以坐标 (x_1, y_1) 所在区域为中心网格,建立 2^n 个网格区域;并将这些数据按照动态四叉树格网索引的划分原则进行分类存储,分成点和线段两种存储类型,其中面对象作为

线处理;然后,将存储数据建立成基于四叉树空间索引的动态网格数据,每个四叉树索引项存储索引映射的动态内存块地址和大小,每个网格存储指定格网范围内所有点线面对象的坐标集合,以及包含或部分包含几何对象的类型、风格等信息,将坐标 (x_1, y_1) 根据四叉树索引模型查询出所属的叶子网格区域,查询该区域的最近的对象,根据查询得到的对象索引,直接获取对象内存数据,最后按照先点和文字,后线和面的捕捉规则进行目标的捕捉。

3) 动态格网更新

捕捉系统实时地将用户的捕捉信息保存在捕捉新区域中,每隔一段时间,动态更新子系统被激活,它从捕捉新区域中获取到新的地图区域后,激活浏览足迹数据库,裁剪区域后实时写入索引字典中,激活捕捉索引数据提取模块,利用新索引字典对原有索引数据和新的索引数据进行捕捉区域提取,重补新格网数据,并把这种更新得到的新结果反映到捕捉格网索引数据库中去,如图2所示。

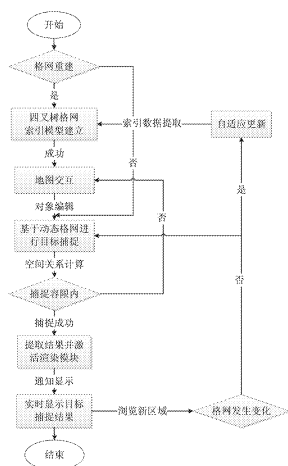


图2 基于动态格网模型的空间目标捕捉流程图

Fig.2 Spatial target capture flowchart based on dynamic grid model

2.3 算法实现

本算法旨在高效处理大数据空间图形数据,按照面向对象原则,我们设计封装了具体实现类,分别实现了动态数据更新、高效率绘制、多样化捕捉表达、复杂空间计算等功能模块,并基于四叉树空间索引技术和多线程技术,结合格网缓存模型,借助UML类图设计工具,设计出了一种基于动态格网模型的空间目标捕捉理论模型和实现模型。该模型核心类图如图3所示,具体实现类如下:

1) 编辑捕捉工具,是目标捕捉算法总入口,管理源数据库、动态格网模型、计算算法库、数据自适应更新、捕捉结果表达,通过此模块和应用层进行交互;

2) 捕捉编辑缓存,用以管理格网缓存,包括格网内全部落入或部分落入的空间对象,此模块存储了空间对象的索引和空间坐标串;

3) 捕捉工具,用以管理捕捉过程中空间位置和手势识别,以及空间关系判断的算法库,通过此模块将得到捕

捉的实时结果;

4) 捕捉编辑格网,用以管理四叉树空间索引字典、规则划分的 2^n 个格网,通过此模块实现对格网内的空间对象进行四叉树索引建模,并根据区域范围自适应更新格网模型。

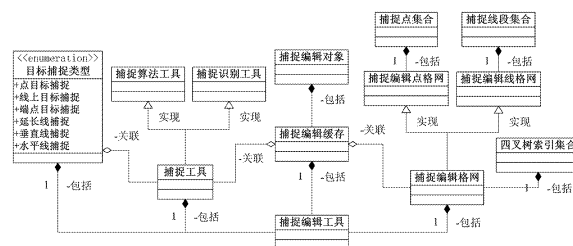


图3 基于动态格网模型的空间目标捕捉算法核心类图

Fig.3 Core class diagram of spatial target capture algorithm based on dynamic grid model

此外,根据地图交互的手势逻辑特点和地图可视化表达的区域特性,建立了屏幕坐标和空间对象的索引映射表,并基于地理范围分幅索引机制,形成动态空间目标格网模型。基于该模型,按照时间顺序,分别进行了地图捕捉的手势类型识别、手势消息封装分发、建立动态格网、映射空间索引、空间关系判断、捕捉目标识别、捕捉结果封装、捕捉结果显示等操作,完成整个空间目标捕捉的全过程。

最后,为了方便运行及测试,我们按照软件设计模式,对算法进行了封装实现。按照三层架构设计模式,包括显示层、逻辑层和数据层。显示层将屏幕交互的手势,传递坐标到逻辑层,逻辑层将坐标传入动态网格计算,通过实时比较算法确定空间关系,将结果数据存储在数据层,数据层通过索引内存链表过去逻辑层得到的结果,并将结果通过堆栈索引结构进行存储,存储对象风格、类型参数、坐标集合数据。最后将捕捉到的对象更新到堆栈数据,并将堆栈数据发送到显示层绘制渲染。

3 算法分析比较

目前,常见的捕捉算法有前述传统捕捉算法(基于DB空间查询算法),该算法通过构造出的空间对象按照相交和包含以及垂直平行等空间关系构造查询条件,分别遍历点、线、面、符合类型数据集,进行空间查询,得到以每个可见图层为单位的结果记录集,结果记录集包括当前地图所有可见图层的点、线、面、文字等要素对象。还有基于固定格网模型的捕捉算法,通过对点群进行格网划分,建立空间索引实现高效捕捉。而本文介绍的基于动态格网模型的捕捉算法,基于动态分布式格网,能够根据地图比例尺地理范围对视图要素动态建模,形成覆盖地图全视图的内存索引列表,并根据空间索引查询和空间关系判断进行对象捕捉。针对端点、节点、线上点、垂直线、延长线5种图形类型,我们对比了这3种空间对象捕捉算法的运行效率(耗时ms)(见表1)。

(下转第71页)

指标名称	指标性质	2013年指标值	2015年指标值	指标增幅
1 A11 自然村密度	正	0.0059	0.0059	0
2 A12 自然村建筑密度	正	0.1304	0.2011	0.0707
3 A13 自然村容积率	正	0.2201	0.3837	0.1636
4 A14 宅基地空置率	逆	0.0002	0	-0.0002
5 A15 经营性建设用地集约度	逆	0.6751	0.1567	-0.5184
6 A16 人均建设用地	正	16.6402	85.8617	69.2215
7 A17 人均住宅面积	正	20	45	25
8 A18 生活便捷度	正	0	0.1139	0.1139
9 A21 人均绿化面积	正	0.317	0.9405	0.6235
10 A22 土地平整度	正	0.0742	0.0742	0
11 A31 居民人均收入	正	15935.45	23840	7904.55
12 A32 经营性用地地均资产投资	正	0.0015	0.3411	0.3396
13 A33 产业用地地均产值	正	0.3571	0.3914	0.0343

图 3 实验区治理前后各项土地利用集约程度指标值

Fig.3 Index value of intensive land use in experimental area before and after renovation

对比该区域 2013 年的土地利用集约指标可知,经过两年的综合整治,区域自然村建筑密度、人均建设用地面积、人均绿化面积三项指标有显著提高,区域空心化程度显著降低。由指标所反映的尚未明显改善的评价因子,可由后续的规划治理工作加以改善^[18]。通过本系统分析,既能掌握土地利用水平、总结治理成果,也可为后续工作的编制提供参考。由实例可见,城镇近郊区数字村庄数据库系统对使用者分析村庄发展情况、编制村庄规划方案有重要的参考价值。

3 结束语

通过建立城镇近郊区数字村庄数据库系统及实例分析,实现了对实验区村庄基础信息的分类管理,并可经由数据查询、更新、输出、保密模块,使村庄数据的获取和分析更加便捷、安全,能够对村庄规划、治理工作提供帮助。在后续研究过程中,应当进一步完善数据库系统对于数字村庄整体系统的支持作用,使之功能更加灵活全面,并减小运行过程中的数据冗余。

参考文献:

- [1] 刘彦随,龙花楼,陈玉福,等.中国乡村发展研究报告[M].北京:科学出版社,2011.
- [2] Deakin Mark, AlWaer Husam. From intelligent to mart cities [J]. Intelligent Buildings International, 2011, 3 (3): 107-116.

- [3] Jawad T. Al-Bakri, Mohmmad Duqqah, Tim Brewer. Application of Remote Sensing and GIS for Modeling and Assessment of Land Use [J]. Journal of Geographic Information System, 2013, 5(5): 509-519.
- [4] 王宗侠,段渊古.村镇建设中土地利用问题与对策[J].农业与技术,2006,26(2): 31-32.
- [5] 桑玲玲,张超,杨建宇,等.村镇土地利用预警系统设计与实现[J].农业工程学报,2010,26(S2): 320-324.
- [6] 张洪吉,李绪平,罗勇,等.基于 ArcSDE 和 SQL Server 的新农村建设数据库设计与实现[J].安徽农业科学,2013,41(4): 1 836-1 838,1 841.
- [7] 张黎娜,邹海.基于 ArcSDE 的地理数据入库和实例开发[J].计算机技术与发展,2013(23): 183-185.
- [8] ESRI. ArcSDE _ guide _ Sqlserver [M]. Redlands: ESRI Press, 2004.
- [9] 孙永华,李晓娟,尹连旺.基于 ArcSDE 和 SQL Server 2000 洪水灾害信息数据库设计研究[J].河北师范大学学报:自然科学版,2007,31(3): 400-404.
- [10] 牛新征,张凤荔,文军.空间信息数据库[M].北京:人民邮电出版社,2014.
- [11] 罗贤缙,秦金磊,张锋奇,等.数据库实用教程(SQL Server 2008+C#)[M].北京:中国电力出版社,2015.
- [12] 邓玲,李俊兵,姚俊.空间数据库技术研究[J].微机发展,2004,14(5): 107-109.
- [13] 杨雪银.GIS 空间数据模型与数据存储初探[J].西南林学院学报,2003,23(2): 53-56.
- [14] 赵彦荣,陈永立,陈刚.省级地理国情普查数据库矢量数据更新模式的探讨[J].测绘与空间地理信息,2016,39(8): 153-155,157.
- [15] 严金明.简论土地利用结构优化与模型设计[J].中国土地科学,2002(8): 20-26.
- [16] 王海兰.农村“空心村”的形成原因及解决对策探析[J].农村经济,2005(9): 21-22.
- [17] 姜绍静,罗洋.空心村问题研究进展与成果综述[J].中国人口·资源与环境,2014(6): 51-58.
- [18] 王娟娥,方金.“空心村”问题研究评述[J].农业科技管理,2012(31): 54-57.
- [19] 龚文辉,刘洪波,周延刚.基于组件技术的乡村综合信息数据库管理系统[J].西南师范大学学报:信息科学版,2012,37(10): 173-177.
- [20] 刘红梅.基于 C/S 和 B/S 体系结构应用系统的开发方法[J].计算机与现代化,2007(11): 52-57.

[编辑: 刘莉鑫]

(上接第 67 页)

表 1 三种捕捉算法的平均捕捉耗时
Tab.1 The average capture time of the three capture algorithms

捕捉类型	基于动态格网算法 (本文算法)	基于 DB 空间 查询算法	基于固定格网模 型的捕捉算法
端点	46 ms	572 ms	109 ms
节点	41 ms	560 ms	102 ms
线上点	55 ms	658 ms	116 ms
垂直线	53 ms	661 ms	113 ms
延长线	65 ms	683 ms	140 ms

我们发现,在端点、节点、线上点、垂直线、延长线 5 种图形类型,本文提出的基于动态格网模型捕捉算法的平均捕捉耗时均在 70 ms 以内,而基于 DB 空间查询算法平均捕捉耗时均在 550 ms 以上,基于固定格网模型的捕捉算法平均捕捉耗时均在 100 ms 以上。本文提出的捕捉算法捕捉耗时显著地低于其他两种算法。

然后,我们还对比了本算法在子过程中的平均耗时情况(见表 2),格网索引查询的平均耗时均在 15 ms 以内,目标捕捉识别过程平均耗时均在 30 ms 以内,结果状态绘制平均耗时均在 22 ms 以内,总平均耗时在 70 ms 以

(下转第 74 页)

误差需符合 1:1 000 比例尺测量精度要求。对于包含高楼建筑的航飞区域,比例尺精度要求不得低于 1:2 000。项目成果的实例如图 1 所示。

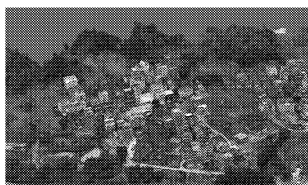


图 1 项目成果实例

Fig.1 Project achievements examples

4 结束语

采用低空无人机倾斜摄影测量系统生产出的实景三维影像,是对现实空间场景的真实三维重构与还原,可使领导决策者全面了解美丽小镇中心区域城镇建设情况,宏观掌握现有空间布局及景观设施,为制订更为科学、合理、优化的美丽小镇建设方案提供大数据支持。实景三维影像因其丰富的影像信息、多样化的展示形式、真实的三维体验,也为美丽小镇建设进程跟踪管理提供了新方法、新思路。

其次,实景三维影像由点云数据支撑而成,具有真实三维坐标,可进行位置定位和面积量测,为美丽小镇建设过程中的房屋面积统计、工程量估算、建设资金预算等工作提供精准的数据支持。

但同时,也存在 3 个方面制约低空无人机倾斜摄影测量系统应用的因素。首先,由于政策管理,无人机飞行的

区域受到较大限制。其次,由于季节与天气原因,无人机有效作业时间受到限制。另外,由于目前无人机的电池容量有限,单架次飞行时间很难突破 1 h,这也影响了系统的作业效率。

参考文献:

- [1] 黄健,王继.多视角影像自动化实景三维建模的生产与应用[J].测绘通报,2016(4):75-78.
- [2] 李德仁,胡庆武.集成倾斜航空摄影测量和地面移动测量技术的城市环境监测[J].武汉大学学报:信息科学版,2015,40(4):427-443.
- [3] 朱建伟,袁国辉.基于倾斜摄影测量技术的无人机城市建筑监测系统在违建查找中的应用[J].工程勘察,2017(7):59-62.
- [4] 李颀.基于倾斜摄影技术在农村房屋权属调查测量中的应用[J].测绘与空间地理信息,2016,39(6):182-186.
- [5] 中测新图(北京)遥感技术有限责任公司,中国测绘科学研究院,广东省国土资源厅测绘院.CH/Z 3005—2010 低空数字航空摄影规范[S].北京:测绘出版社,2010.
- [6] 孙玉平,范亚兵,郝睿,等.基于倾斜摄影技术构建实景三维产品的应用开发研究[J].测绘与空间地理信息,2015,38(11):152-154.
- [7] 胡阳明,邓兴升.地形三维建模中特殊地物的处理方法[J].测绘与空间地理信息,2017,40(9):220-224.
- [8] 国家测绘地理信息局.CH/T 9015—2012 三维地理信息模型数据产品规范[S].北京:测绘出版社,2013.
- [9] 赵宏,杜明成,吴俐民,等.基于倾斜摄影测量技术的智慧城市 5D 产品制作工艺实现[J].测绘工程,2016,25(9):73-76.

[编辑:任亚茹]

(上接第 71 页)

内。本研究设计的基于动态格网模型的空间目标捕捉算法耗时较低,可高效地实现图形捕捉。

表 2 不同捕捉类型的捕捉过程测试结果
Tab.2 Capture process for different capture types test results

捕捉类型	格网索引查询	目标捕捉识别	结果状态绘制	捕捉过程总耗时	是否出现卡顿延迟
端点	12 ms	20 ms	14 ms	46 ms	流畅
节点	13 ms	16 ms	13 ms	41 ms	流畅
线上点	13 ms	24 ms	18 ms	55 ms	流畅
垂直线	14 ms	19 ms	20 ms	53 ms	流畅
延长线	15 ms	28 ms	22 ms	65 ms	无明显卡顿

4 结束语

空间数据捕捉是地图制图、空间数据编辑中的一个重要功能,快捷、高效的空间数据捕捉算法可极大地提升空间数据编辑的效率,减少时间成本。本文提出了一种新型的空间目标动态捕捉算法,该算法是一种具有自适应性和动态性的格网索引机制,通过对地图指定空间目标所在区域进行格网逻辑划分,从而获取要素数据,并建立格网索引——点串集键值索引表和要素分层链表,实现了空间目标捕捉的高效率查询、计算与分析。我们通

过实验对比了本文提出的基于动态格网模型捕捉算法与基于 DB 空间查询算法、基于固定格网模型的捕捉算法的平均捕捉耗时,发现本算法平均捕捉耗时均明显低于其他两种方法。动态格网捕捉算法是一种新的空间对象捕捉处理方法,该算法在提升捕捉性能的同时,能够保持捕捉的稳定性和保留细节特征。

参考文献:

- [1] 刘文宝,夏宗国,崔先国. GIS 结点捕捉的广义算法及误差传播模型[J]. 测绘学报, 2001, 30(2): 140-147.
- [2] 孟妮娜,周校东. 固定格网划分的空间索引的实现技术[J]. 北京测绘, 2003, 17(1): 7-11.
- [3] 乔彦友. GIS 中目标选取算法的研究[J]. 林业科学研究, 1996, 9(1): 75-79.
- [4] 陶晓丽,张志华,张丽萍. 基于格网索引的点目标捕捉算法[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(10): 200-202.
- [5] 吴磊,黄先锋,舒宁. GIS 大数据量编辑处理中快速捕捉的优化策略[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版, 2005, 29(2): 315-318.
- [6] 张成才,张昂,王晓蕾. 空间数据捕捉与移动方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(5): 131-133.

[编辑:吴 鹏]