

基于四叉树索引和双缓存机制的 GIS 动态可视化模型设计与实现

黄科佳^{1,2}, 李少杰¹, 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:针对 GIS 数据的多维、海量、动态性等特点,本文设计了基于四叉树和双缓存机制的 GIS 动态数据可视化模型,并详细地介绍并阐述该模型的数据存储规格和数据可视化方法及其特点。基于四叉树索引结构和多线程双缓存机制,构建 GIS 动态数据可视化模型,探讨多线程分层绘制动态对象方法和 GIS 空间数据库实时更新方法,实现 GIS 海量数据的动态化、序列化、实时可视化表达。并测试对比了常见可视化算法与本算法之间的显示效率,发现本研究算法针对多种 GIS 图形类型、大数据量 GIS 数据显示,均有较高的效率提升,实验证明该方法稳定可行,可为其他 GIS 动态数据的可视化提供参考。

关键词:四叉树索引; 双缓存机制; 动态 GIS 要素; 可视化模型

中图分类号:P208 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-5867(2018)04-0102-04

Design and Implementation of Dynamic Visualization Model Based on Quadtree Index and Double Buffering Mechanism

HUANG Kejia^{1,2}, LI Shaojie¹, 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 Design, Beijing 100038, China)

Abstract:According to the characteristics of multidimensional, dynamic GIS datas, a dynamic data visualization model was designed based on QuadTree index and double buffer mechanism. And we introduced the characteristics of the model of data storage and data visualization. The test results showed good performance in visualization of massive GIS datas. Compared with the regular methods, this model can significantly improve the efficiency of GIS dynamic data visualization.

Key words:QuadTree index; double cache mechanism; dynamic GIS features; visualization model

0 引 言

随着计算机技术的不断进步,互联网、物联网以及 3S 技术的迅猛发展,GIS 领域中,地图可视化及电子地图查询分析变得越来越重要,并已广泛应用于林业普查、水利勘探、电力管理、交通运输等各个方面。同时,互联网技术的发展,使得电子地图直接通过网页进行展示,人们使用电子地图变得越来越方便。而在网络环境下,GIS 空间对象也不再是一成不变的地理对象,而是动态的、分散

的,例如交通流量、时刻降水、降雪、长时间尺度的土地利用情况等。传统的静态 GIS 可视化技术在处理动态地理要素时往往捉襟见肘,而新型可视化技术的发展为动态要素可视化展示带来了思路。而本研究引进了四叉树索引和双缓存机制,研制了新型高性能 GIS 动态可视化模型,为动态可视化展示的不断进步提供参考。

1 研究进展

随着 GIS 数据获取手段和技术的不断丰富,地理空间

收稿日期:2017-04-11

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);中国科学院国防科技创新基金项目(CXJ-14-M13);国家科技支撑计划项目(2013BAC03B00)资助

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

数据变得更加多样,数据量也成倍增长。为了应对这一挑战,动态可视化技术应运而生。相对于静态可视化技术,动态可视化技术展示的画面更加生动、形象。

目前,已有许多学者和技术人员,从移动GIS地图可视化、三维地图可视化等方面对动态可视化技术进行了研究。如叶焕倬通过在三维空间中分析GIS目标的数据组织模式和存储方法,分析了动态数据的表达方法,提出了状态序列模型和运动模型^[4],但并未设计可视化技术;类似的还有陈永康基于线划模型、billboard模型和符号化模型等3个层次的LOD模型来表达动态目标^[5]。王涛等在对三维空间数据模型探讨的基础上,对三维刚体目标和例子系统的运动方式和可视化进行了研究,针对LOD方法进行了探索,并设计了动态目标可视化模块^[6],但其研究目标较为局限,且并未进一步探索动态目标性能加速及高性能展示等技术。王柯等面向移动终端平台,采用Java开发语言,在eclipse开发环境下,实现了移动GIS地图服务演示系统^[7]。在技术上验证了文中提出的一种服务模式。在该系统中,用户可以实现自定义瓦片地图数据的本地缓存;可以在瓦片地图上叠加个性化的地图图层;可以获取基于地图的多种服务,有效地提高了图形显示效率。还有孙正等基于改进的Impostor技术,通过多几何体图形进行缓存,之后的帧渲染中使用图像缓存来代替几何体,从而达到加速渲染的目的^[8],这与Billboard技术类似,但是它是与视点相关并且实时更新的,所以具有更高的真实性。此外,在地图对象更新方面,田兵等基于GIS平台的动态触发图层填充方法^[9],解决了GIS平台后端数据不能实时传送到GIS平台前段的问题,有效地提高了显示效率。陈泓坤等对GIS地图显示采用分层显示方法,将需要显示的地图数据划分为若干子图层,包括一个底图层和若干热点层,分别创建基于OpenGL的显示列表,当需要显示时根据列表调用相应图层,大大减少了绘图耗时,提高了绘图效率和显示效果^[3]。

基于上述内容,在高性能渲染引擎OpenGL和混合加速技术基础上,我们提出了一种新型GIS数据可视化模型,该模型通过四叉树索引技术实现快速的自适应更新,并使用预处理的双缓存技术,建立一种动态渲染机制,实现快速查询和绘制以及更新动态对象。最后,还探讨了该模型在Windows、Linux及IOS等平台上的实现方式,并基于C++语言封装到各个平台上运行,实现了动态目标的GIS可视化显示模型。

2 动态可视化模型的设计与实现

2.1 动态可视化模型的设计

本文提出的新型GIS动态可视化模型,基于四叉树空间索引规则和双缓存显示机制,将四叉树存储结构保存的数据直接从内存提取并进行可视化,且将可视化结果保存到预缓存,通知主线程交换新缓存和旧缓存,并将新缓存加载到屏幕进行显示,实现GIS要素数据的快速查询

和更新显示,如图1所示。



图1 基于四叉树索引和双缓存机制的动态可视化模型技术架构图

Fig.1 Dynamic visualization model based on quadtree indexing and double caching mechanism

具体来讲,基于四叉树索引规则,我们研究设计了本算法的逻辑结构模块。针对矢量数据,首先规则地将矢量数据按照四叉树索引结构划分为 4^N 个网格,如图2所示,同时,记录这 4^N 个网格的索引信息,它记录了每个矢量要素对象的动态属性及状态,并存储于键值对容器中,通过键值查询索引数据,可极大地提高数据检索的效率。为了降低动态数据的频繁更新带来的效率损失,通过内存数据库为矢量数据建立存储模型。渲染过程中,动态存储子系统实时地将对象当前状态保存到四叉树索引项中。此外,我们还引入了双缓存技术,基于同步锁和两块内存完成可视化过程。渲染完成的可视化结果暂时保存到第一块内存中,同时,开辟第二块内存空间用于关联屏幕地图可视化显示,其内容根据绘制任务的完成进度,自适应从内存中拷贝,并建立互斥区,这样可以保证第二块内存持有最新绘制内容并及时绘制,且不存在中间绘制状态因而不存在卡顿现象,可极大地减少UI主线程资源开销,并在渲染完成时提取更新到内存数据库中进行持久化。

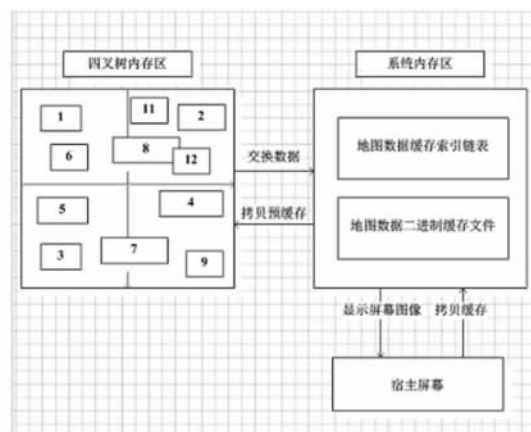


图2 四叉树索引渲染逻辑结构图

Fig.2 Quadtree index rendering logic diagram

2.2 动态可视化模型的实现流程

我们将从动态对象四叉树索引模型建立、动态对象实时数据更新、动态对象双缓存渲染3个方面具体介绍该模型的实现流程,如图3所示。

首先,对海量数据进行分层处理,非动态数据直接后

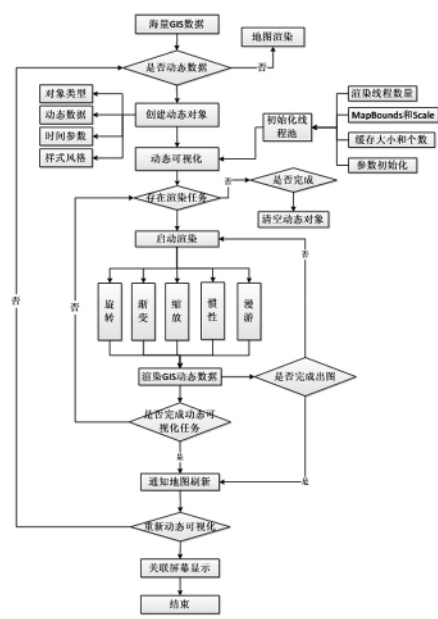


图3 基于内存数据库的新型动态渲染模型流程图

Fig.3 A New dynamic rendering model flowchart based on memory database

动地图渲染模块,动态数据启动动态可视化模块,将动态数据依次构造成动画批次数据。动态对象实时改变空间属性和通用属性以实现动画效果,动态对象根据空间属性和通用属性构造一个待绘制符号进行绘制,绘制完成后,根据动态对象的时间范围以及属性范围(包括距离、角度、宽高、透明度),计算出单位时间内属性数值变化的百分比 t ,每次提取的 t 值在动画中保持不变,本次渲染完成后递增 t 值,通知绘制线程发送新数据渲染任务,重复以上过程,直到属性数值达到目标值,且 t 值为0时,完成整个动态对象数据更新过程。

完成构造后启动渲染线程池并向线程池发送渲染任务,线程池接受到任务后开始渲染动态对象,开始从内存数据库中空间查询出指定地理范围的批次数据,并按照多态实现的平移、惯性、渐变、旋转、缩放等子序列化成地理坐标数据。然后,通过地图模块将地理坐标数据转换为屏幕像素数据,最后将像素数据通过图形渲染引擎 Skia 调用图形绘制接口,绘制到指定宽高的位图上,完成绘制后将得到的位图通知 UI 线程,根据帧率优先贴到屏幕上显示,循环执行空间查询、坐标转换以及渲染的过程从而实现动态可视化效果。这种方法使得 UI 主线程始终能够获取到最新渲染完成的地图结果,并且无须耗时进行绘制和查询操作,能够实时响应地图屏幕的交互操作,提高了系统响应速度和地图绘制的速度。

2.3 模型软件实现

考虑到动态可视化模型数据实时更新、图像实时变化以及数据量庞大的特点,本文提出了基于内存数据库存储技术和双缓存渲染机制,借助面向对象多态化思想和生产者-消费者设计模式,设计了基于 Sqlite 的动态数据存储模块和基于预缓存分层绘制的动态数据渲染模

块,并在此基础上,设计了监控地图交互和事件监听的视窗控制模块,通过 C++ 注册回调机制和跨平台语义多态性实现各个模块的数据通信。

在本模型 GIS 动态数据可视化过程中,从功能逻辑上将动态可视化按顺序划分成动态目标的构造初始化,封装动态消息,发送多线程任务,分发实时绘制任务,查询数据库,转换地理坐标,符号化要素,实时渲染图像结果,关联屏幕显示等各个子模块功能。

在业务逻辑实现方面,首先,用户通过交互界面启动渲染事件,通过手势识别器将事件消息封装成绘制任务。主线将绘制任务消息发送到渲染线程池中,渲染线程池启动查询子线程和绘制子线程,其中查询线程通过四叉树索引的四分法查询并读取内存数据库地理数据,将地理数据转换成绘制引擎可直接进行纹理计算的像素数据,将像素数据按照先入先出规则实时存储到数据队列,绘制子线程循环读取数据队列。如果读取不到数据,将睡眠 10 ms 等待新数据加入队列;如果读到数据,将像素数据通过数组排列成线段点串和三角形点串,光栅化为纹理保存到显存中,将显存图像数据拷贝到预缓存内存块上,通知主线程使用显示缓存交换预缓存,并从显示缓存中提取图像显示到地图屏幕,完成整个动态数据的可视化渲染过程。

3 算法性能对比

目前,市面上同类 GIS 软件常采用简单的图形绘制算法^[1,5,7,10],它根据地图可视范围以及所有可视图层,按照包含和相交等空间关系构造空间查询条件,分别对图层对应的数据集进行空间查询,得到要素记录集。然后,提取要素记录集中的空间记录和属性记录,并将要素记录转换成能够渲染的动态绘制对象,将动态绘制对象按照类型划分为文字、点、线、面、图表等单一类型数据。最后,通过图形渲染接口 skia、gdi、qt 等依次绘制图元对象到画布上,所有对象绘制完成后,通知宿主窗口将渲染好的画布更新到屏幕上,完成整个动态对象渲染过程。

本研究基于多组不同规模的实际交通车辆数据,设计了本文所述算法与常见简单图形绘制算法的对比分析实验。实验环境为一台主频 2.6 GHz 的双核处理器 PC 机,内存为 2 GB。实验发现,针对 500、2 000、5 000、20 000 和 50 000 个动态 GIS 对象时,本文高性能可视化模型算法均有着较高的性能提升,见表 1;且针对不同动态要素的动画类型,均有着较高的绘制效率,见表 2。

表1 两种绘制算法测试结果

Tab.1 Two drawing algorithm test results

动态对象个数	传统绘制算法	新型绘制算法 (本文算法)	性能提升 (倍数)
500	73 ms	<10 ms	>10 倍
2 000	141 ms	19 ms	>7 倍
5 000	337 ms	42 ms	>8 倍
20 000	860 ms	116 ms	>7 倍
50 000	1 731 ms	239 ms	>7 倍

表2 不同动画类型的动态渲染测试结果

Tab.2 Dynamic rendering test results for different animation types

动画类型	所用时长 (ms)	绘制次数 (次/s)	平均绘制时间 (ms/次)	是否出现 卡顿延迟
平移动画	1 000 ms	62 次	16 ms	流畅
渐变动画	1 000 ms	61 次	16 ms	流畅
伸缩动画	1 000 ms	54 次	19 ms	流畅
惯性动画	1 000 ms	59 次	17 ms	流畅
旋转动画	1 000 ms	47 次	21 ms	无明显卡顿

4 结束语

动态可视化模型作为时态GIS的核心,将GIS研究者从复杂的底层技术细节中解脱出来,降低了时态GIS的复杂度,提升了系统软件的可用性和扩展性。本文基于四叉树算法和双缓存机制,设计实现了一种新型GIS数据可视化模型,该模型通过四叉树索引技术实现快速的自适应更新,并使用预处理的双缓存技术,建立一种动态渲染机制。通过实验对比,面对大量GIS数据分析,该算法均有着较高的性能提升。

参考文献:

- [1] Wang X, Pullar D. Describing dynamic modeling for landscapes with vector map algebra in GIS [J]. Computers & Geosciences, 2005, 31(8):956-967.
- [2] Yang J, Yang C, Yu Z, et al. Research on high-performance Web GIS system for map symbol dynamic editing and

network publishing [J]. // Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International. IEEE, 2004.

- [3] 陈泓坤. 基于OpenGL的线段绘制交点的平滑处理方法及系统: CN, CN 103295252 A [P]. 2013.
- [4] 陈永康. 3D GIS 中大数据量场景可视化研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2004.
- [5] 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.
- [6] 刘浩, 段莉琼, 曹巍, 等. GIS 系统中灾情信息动态可视化研究 [J]. 自然灾害学报, 2012(6):19-24.
- [7] 刘谨萍. 基于时态GIS的统计地图动态可视化研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [8] 孙正. 三维图形引擎大规模场景实时渲染技术研究与应用 [D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [9] 田兵, 石鑫磊, 王茜, 等. 基于GIS平台的空间海量多元数据统一索引方法: CN, CN104268201A [P]. 2015.
- [10] 王欢. 时空数据动态可视化及其在警务GIS中的应用 [D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2007.
- [11] 王涛. 三维GIS中的动态目标表示及其可视化 [D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [12] 王柯, 王腾, 张文诗, 等. 移动终端GIS地图服务模式研究与实践 [J]. 测绘科学技术学报, 2014(4):368-371.
- [13] 杨德江. 基于GIS的数据动态空间管理及可视化技术研究 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(18):4346-4349.
- [14] 叶焕倬. 三维运动目标的数据组织与管理 [D]. 武汉: 武汉大学, 2004.

编辑: 任亚茹

(上接第101页)

本文仅选取了部分研究区域进行了准确检验,故不能代表整体精度。选取的SRTM数据产品和真实值可能存在一定误差。AW3D30整体上在坡度小于5°的地区精度较高,甚至优于其发布的5.0 m指标,但目前该数据少部分区域存在漏洞缺失,完整性还有待提高。在目前公开版的全球DSM数据产品中有着分辨率高、覆盖度广的优势,该数据能为今后的科学研究提供地形参考数据源。

参考文献:

- [1] 杜小平, 郭华东, 范湘涛, 等. 基于ICESat/GLAS数据的中国典型区域SRTM与ASTER GDEM高程精度评价 [J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2013(4):887-897.
- [2] 张弛, 葛莹, 王冲, 等. 不同地貌下国产资源三号测绘卫星DSM数据质量评价——以云南省高海拔山区为例 [J]. 地理信息世界, 2015, 22(4):60-65.
- [3] 孙亮, 刘平芝, 张卫柱, 等. Aster DEM数据与1:50 000地面高程库数据的精度比较分析 [J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(9):1-6, 10.

- [4] 张朝忙, 刘庆生, 刘高焕, 等. 中国地区SRTM3DEM高程精度质量评价 [J]. 测绘工程, 2014, 23(4):14-19.
- [5] 郭笑怡, 张洪岩, 张正祥, 等. ASTER-GDEM与SRTM3数据质量精度对比分析 [J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(3):334-339.
- [6] 史俊莉. GPS高程拟合与精度分析 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [7] 卢华兴, 刘学军, 晋蓓. 基于随机过程的格网DEM精度场模型 [J]. 测绘学报, 2012, 41(2):273-277.
- [8] 詹蕾, 汤国安, 杨昕. SRTMDEM高程精度评价 [J]. 地理与地理信息科学, 2010(1):34-36.
- [9] 杨小艳, 陈龙高, 陈龙乾, 等. 基于土地利用类型的ASTER GDEM精度评价——以连云港为例 [J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(2):377-385.
- [10] 艾建华. 利用ICESAT/GLAS激光测高数据评估SRTM数据精度 [J]. 测绘技术装备, 2015(2):63-66.

编辑: 张 曦