

地理信息数据库动态更新机制研究

回 易

辽宁省自然资源事务服务中心, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]地理信息数据库的时效性是决定其服务效果好坏的重要因素, 传统的整体周期式更新已经不能满足高精度、高时效性的应用要求了。本文从动态更新技术框架入手, 对多源遥感影像变化检测与众源地理信息数据融合两种数据获取方式进行了详细的分析, 并且对时空数据模型的构建、增量信息的提取和表达、冲突检测和一致性维护、更新传播和版本管理等重要算法做了详细的阐述。在此基础上, 从分布式存储和并行计算、实时更新流程的设计、数据质量控制、更新效率的评价四个方面提出动态更新系统实现策略和性能优化途径。

[关键词]地理信息数据库; 动态更新; 增量更新; 时空数据模型

DOI: 10.64635/ja.2026.1404

中图分类号: P208

文献标识码: A

Research on the Dynamic Updating Mechanism of Geographic Information Databases

Hui Yi

Liaoning Natural Resources Affairs Service Center, Shenyang, Liaoning 110000, China

Abstract: The timeliness of geographic information databases is an important factor determining their service effectiveness. Traditional overall periodic updating can no longer meet the application requirements of high precision and high timeliness. Starting from the technical framework of dynamic updating, this paper provides a detailed analysis of two data acquisition methods: change detection based on multi-source remote sensing images and the integration of volunteered geographic information data. It also elaborates on key algorithms, including the construction of spatiotemporal data models, the extraction and representation of incremental information, conflict detection and consistency maintenance, update propagation, and version management. On this basis, dynamic updating system implementation strategies and performance optimization approaches are proposed from four aspects: distributed storage and parallel computing, real-time updating process design, data quality control, and updating efficiency evaluation.

Keywords: geographic information database; dynamic updating; incremental updating; spatiotemporal data model

引言

地理信息数据库对政府决策、环境监测、科学研究、国防建设等各方面起到基础支撑的作用。随着对地理信息现势性的要求越来越高, 传统的以年为单位的整体周期式更新存在着数据时效性差、效率低、资源消耗大等问题。空间数据库更新由原来的周期性整体更新转向高频、精细化的地理实体级更新。持续更新实现会遇到动态变化检测、多源异构数据融合、时空变化建模、增量表达以及冲突一致性维持等种种理论与方法上的难题。

1 地理信息数据库动态更新的技术框架

动态更新和传统的静态更新不同之处在于数据变更的实时检测以及增量处理。其技术框架由四个主要部分组

成, 即变化感知与获取、时空变化建模与表达、增量信息提取与存储、变更数据传播和版本管理。从技术范式来看, 目前的动态更新策略大致分为三种。一是遥感影像驱动的变化发现和矢量库联动更新, 用高分遥感影像作为源, 用变化检测识别出变化区域并更新矢量数据库, 在国家基础地理信息数据库中得到了实践验证^[1]。二是增量数据动态更新, 只将发生变化的地理要素入库, 不变部分不更新, 大大减少数据量。第三为协同更新模式, 地图数据库和成果相互影响, 可以多人同时修改。

上述框架要回答两个基本问题, 变化从何而来, 变化怎样被表达和管理。前者决定更新的及时性、准确性, 后者决定更新的粒度、灵活程度, 由此形成变化检测方法和

数据模型两大核心技术板块。

2 动态变化检测与数据获取方法

2.1 多源遥感影像变化检测

遥感影像因为具有空间覆盖广、更新周期可控等特点,是动态更新的主要数据来源。多时相影像处理的核心就是识别不同时期的影像中的真实地表变化,区分变化和伪变化像元。传统的目视判读精度高,但是周期长,不能满足常态化监测的要求。深度学习给遥感变化检测带来了很大的自动化的提高。利用卷积神经网络结合历年高分辨率影像和地表覆盖矢量图斑,可以建立地物类别识别样本库,提取变化区域,对城市和非城市地区进行分层、分要素的差异化检测。地理实体边界连续变化的表达更难。有研究用节点位置和时间标记来创建边界结构,算出多个时序位置差值得到变化序列,剔除重复移动节点得到连续变化信息,加入突变识别和边界重构机制来加强异常扰动的发现^[2]。实际应用中只依靠遥感影像仍然存在时相不一致、云遮挡和地物光谱混淆等问题。视觉基础模型驱动的变化检测网络在特征表达、泛化能力方面比传统的深度学习要好,给解决有限样本条件下检测问题提供了一种新的思路。

2.2 众源地理信息数据融合

遥感变化检测可以解决“何处变化”,但是不能很好地捕捉到局部高频动态信息。众源地理信息采用自下而上的群体贡献方式,在实时性、广覆盖、低成本等方面有优势。OpenStreetMap等已经成为了重要的地理数据来源,对灾害响应、偏远地区的测绘起到了重要的作用。众源数据纳入动态更新的限制就是质量可信度。由于贡献者自发性、非专业性,造成大量的低质量数据。借鉴电商信誉度评价的思想,研究者提出了基于版本相似度的志愿者信誉度量模型,发展了顾及信誉度的目标可信度计算模型,给质量评价和清理提供依据。该模型通过对编辑过程中后续版本对之前版本的编辑修改来分析隐含的评价关系,从而得到不需要直接评分的客观信誉度量。地理人工智能的出现给众源数据质量控制赋予了新的办法。把GeoAI模型预测的结果同权威的地面实况加以比较,可以检验出模型所给出的精度和可靠性。多源遥感变化检测和VGI数据融合,用遥感获得宏观变化,用众源补充局部实时信息,已经成为一种有效的技术路线。

3 动态更新机制的关键算法与模型

3.1 时空数据模型构建

时空数据模型是实现地理实体动态变化完整表达的理论基础,涉及时空对象表达以及动态分析推理。传统的

GIS只能够反映瞬时的状态,新的数据会覆盖掉旧的数据,不能实现变化的追踪和趋势的预估。时空GIS把时间维度扩展出来,使得变化的过程可以被完全记录下来。基态修正模型是目前应用最广的模型之一,以基态地图为基础,只记录之后的变动部分,在保证历史追溯的同时减少数据冗余。有研究对Shapefile文件进行扩展,用改进基态修正模型建立ArcGIS环境下时空数据模型。面向实体全生命周期管理,近几年发展起来的时空演化知识图谱在属性图模型的基础上加入了实体间的时空演化关系,实现了增量式的更新,给语义层面的动态管理提供了一种新的思路。

3.2 增量信息提取与表达

增量信息提取就是从变化检测的结果中找出需要更新的最小数据单元。只把发生变化的地理要素存入数据库,大大提高了更新速度。在矢量环境下,根据相似度自动提取变化数据的方法是将匹配更新的数据和原始数据中的同名要素进行匹配,从而得到变化数据,可以降低待处理数据量。增量信息的表达要分层,即语义层次的分类和编码。根据地理实体目标、状态、版本、事件等概念框架,可以把变更过程建模成从目标A的状态1到状态2的事件^[3]。在这样的架构之下,增量更新就被嵌入到了地理实体的全生命周期管理流程当中。基于Geodatabase数据模型的增量表达已经形成了以基态继承、增量模型扩展、图形注记输出控制、地理处理工具、增量表达分类预处理和图形冲突检测为内容的较为完整的方案。

3.3 冲突检测与一致性维护

多源数据的更新必然会产生冲突。当遥感影像提取出的变化数据同原有的矢量数据、或者多个用户同时提交的变更数据之间存在拓扑矛盾或者属性不一致的情况时,就必须执行冲突检测并完成一致性维护。

冲突的类型主要包括拓扑冲突和属性冲突两类。拓扑冲突是要素之间空间关系的矛盾,面状地类边界上新的数据与相邻要素之间有缝隙或者重叠;属性冲突则是同一个地理实体在不同的更新来源中有着不同的语义描述。基于矢量数据匹配的增量更新方法,用拓扑关系、属性关系两个方面来描述变化数据和未变化数据之间约束的关系,从而达到一定程度上的自动冲突检测。经过研究可知,该系统可以较好地解决矢量要素更新时出现的拓扑冲突、属性冲突等问题,降低待处理数据量,简化数据入库时的处理过程。

冲突出现的时候一般会用人工干预和自动规则相结合的方式保持一致性。对于简单的拓扑错误可以由几何修正规则自动处理,但是包含语义解释的冲突就需要人工

判断。伴随着知识图谱和语义推理技术的发展,冲突检测的自动化程度也会越来越高。

3.4 更新传播与版本管理

动态更新的最后一步就是把已经确认的变化信息传送到各个数据库以及用户端。对于多尺度、多粒度的地理信息数据库来说,主库的更新怎样准确地传送到衍生库,就成为一个既有理论又有技术难度的问题。陈军等人的研究方向有主数据库增量数据建模、多尺度数据库级联更新的自动综合等,直接对应到更新传播的技术瓶颈上。版本管理属于支撑更新流传和历史追溯的系统机制,在大规模协同更新当中起着无法取代的作用。版本控制可以保存数据变化的历史,方便用户对历史数据的查询和浏览,也可以支持多用户同时编辑。处理地理空间数据的时候,版本管理要考虑到长事务工作流的特点,从而支持并发编辑过程中出现的冲突检测以及版本合并。增量表的加入使基表和变更表可以分开,数据更新只在增量层发生,从而大大降低版本查询的系统开销。

4 动态更新系统的实现与性能优化策略

4.1 分布式存储与并行计算

动态更新系统的主要性能瓶颈就是大量的时空数据实时写入以及并发查询。传统的集中式关系数据库对于事务锁的竞争以及磁盘 I/O 瓶颈有着明显的优势。分布式 NoSQL 数据库因为具有高写入吞吐量以及横向扩展的特点而被广泛使用。Cymo 存储模型使用查询感知索引策略,把时空空间分成若干个子空间,各个子空间按照自身的查询特点来调整存储模型,真实数据实验表明查询性能提高了 1.53 到 10 倍。GQ-QBS 分布式空间索引采用两层主从结构,全局索引做动态负载均衡和自动扩展,本地索引做快速更新和查询。地理信息更新任务天然具有分区并行的特性,用行政区划或者格网拆分任务可以实现多节点协同处理。

4.2 实时更新流程设计

算法模型到工程实施的更新流程设计决定系统的性能。一个典型的实时更新流程由遥感影像和 VGI 数据连续获取、变化检测结果自动发布、变化要素语义关联和冲突检验、增量信息编码和存档、变更日志生成和告知等组

成。实际工程中触发机制设计的好坏会直接决定系统响应速度。基于事件驱动的架构比轮询式扫描更好。当变化检测模块检测到新的变化信息时,就会触发更新流程,把增量数据推送到处理队列中,再由分布式处理节点完成后续的匹配、检测和入库工作^[4]。对于数据一致性要求很高的应用场合,还要把长事务处理和短事务提交结合起来,在数据编辑阶段使用长事务保证编辑过程的原子性和隔离性,在提交入库时用短事务实现高效持久化。

4.3 数据质量控制方法

动态更新系统中的数据质量一直存在着问题。与初始建库在相对可控的环境下可以进行质量检验不同,动态更新所面对的是不断涌来的异质数据流,质量控制面临的挑战也更大。信誉评估质量控制方法对于众源数据场景来说比较合适。对从专业遥感解译得到的变化数据进行质量控制,主要是用变化检测算法的精度来评价^[5]。国家基础地理信息数据库在动态更新的过程中,依靠不断的改善来保证输出的数据可靠。更新的数据质量控制还要注意多级数据库之间几何精度的衔接以及语义编码的一致性。另外还要创建自动化质量检查体系,就数据完整性、逻辑一致性、拓扑关系以及属性准确程度展开实时检测工作,从而迅速找出并修正出现的异常数据。对重要更新的内容可以用人工审核加自动校验的方式进行复查,保证数据成果的可靠。创建数据质量追溯体系,对数据的来源、更新时间、处理过程以及责任人等进行详细的记录,为以后的数据维护、问题查找、质量评价提供依据,保证动态更新的数据库长时间稳定运行。

4.4 更新效率评估与优化

更新效率的评价要创建量化指标体系。核心指标有单次更新周期处理时间、单位要素平均入库时间、系统吞吐量(单位时间内处理的要素数)、变化的检出率、误检率。从已报道的应用案例中可以看出,采用增量数据进行动态更新的方法比全量整体式更新要快得多。从表 1 可知,在所有的动态更新策略中,以增量更新、增量表为基础的版本管理策略对于数据冗余度控制、冲突处理速度、系统响应速度来说比较平均。

表 1 地理信息数据库动态更新策略对比

评估维度	全量周期更新	遥感影像驱动增量更新	VGI数据融合更新	分布式版本化更新
数据冗余度	高	中低	中	低
冲突处理效率	低	中	中	高
系统响应速度	慢	较快	实时	快
历史回溯能力	弱	中	强	强
适用场景	小规模/低频	宏观/中低频	局部/高频	大规模协同

由表1可知不同的策略各有优缺点,实际系统应该根据应用场景的需求来组合使用。优化路径可以用“监测-评价-反馈”来概括,即采集系统的性能日志,分析瓶颈环节,对瓶颈进行针对性的优化,优化后重新评价,不断改进。

5 结束语

地理信息数据库动态更新属于实现数据高现势性的主要技术途径。本文从技术框架、数据获取、关键算法、系统实现四个方面对本领域研究进展进行了系统的整理。基于增量数据的动态更新方法已经成功地在国家级基础地理信息数据库中使用,地理实体级的精细化解译和增量更新将成为下一步的发展方向。多源遥感变化检测和VGI数据融合的技术路线互补性强,但是二者深度整合还存在异构数据模型统一、质量控制机制协同的难题。时空数据模型的发展由基态修正到面向实体再到知识图谱,但是目前仍然存在模型设计有余而系统落地不足的状况,模型研究成果向工程化系统转化的速度比较慢。人工智能技术对于变化检测和质量控制的潜力还没有被充分挖掘出来,怎

样让 GeoAI 生成的数据具有可以被动态更新系统直接使用的可靠性,将会成为未来的研究重点。

[参考文献]

- [1]曹宏文,张子涵,王石岩,等.空间数据库数据更新技术研究进展[J/OL].水利水电技术(中英文),1-11[2026-06-08].
- [2]程琦,秦思娴.深度学习技术在地表覆盖智能变化检测的应用[J].城市勘测,2025,(5):10-14.
- [3]艾玲洲.面向公益性地图服务的地图数据库协同更新机制研究[J].江西测绘,2025,(3):24-26+49.
- [4]车一鸣,邓维熙,冯飞军,等.耦合机器学习与连通性修正的河流选取模型[J].地理空间信息,2025,23(9):22-26+84.
- [5]吴幼丝,张明,赵东旭.面向控制性详细规划技术修正的地理实体规划分析语义化构建研究[J].工程勘察,2025,53(7):66-71.

作者简介:回易(1987.02—),毕业院校:辽宁工程技术大学,所学专业:测绘工程专业,当前就职单位:辽宁省自然资源事务服务中心,职务:专业技术九级,职称级别:工程师。