引文格式：何佳磊,黄丙湖,王焯. 基于WebGIS的跨维地理知识图谱构建系统设计[J]. 地理空间信息, 2026, 24(2):96-100. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.02.020

基于WebGIS的跨维地理知识图谱构建系统设计

何佳磊，黄丙湖*，王　焯
（中国石油大学（华东）海洋与空间信息学院，山东 青岛 266580）

摘　要：针对现有地理知识图谱构建流程复杂、扩展性和动态性不足的问题，提出了一种基于动态本体的跨维地理知识图谱构建系统。系统通过引入动态本体技术，支持本体模型的实时更新和扩展，结合RESTful API与WebSocket技术，确保本体操作的高效性和实时性。在数据处理方面，针对结构化、半结构化和非结构化地理数据，分别采用Pandas、模板匹配和ALBERT模型进行数据清洗、实体识别与关系抽取，生成RDF三元组存储于MongoDB中。系统利用Canvas和Google Earth API，实现地理知识的二维画布与三维地球的可视化展示，增强了知识图谱的交互性与直观性。同时，通过图计算算法对图谱数据进行分析，为地理信息的深层次挖掘和辅助决策提供支持。实验表明，系统在动态本体管理、数据抽取与跨维图谱展示方面具有高效性和灵活性，适用于多源异构地理数据的通用管理与分析需求，为地理知识图谱的构建与应用提供了一种新思路。

关键词：地理知识图谱；WebGIS；系统设计；知识抽取
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）02-0096-05

Design of a Cross-dimensional Geographical Knowledge Graph Construction System Based on WebGIS

HE Jialei, HUANG Binghu, WANG Zhuo
(College of Oceanography and Space Informatics, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Abstract: In view of the problems of complex construction process, insufficient scalability and dynamism of existing geographical knowledge graph, we proposed a cross-dimensional geographical knowledge graph construction system based on dynamic ontology. By introducing dynamic ontology technology, the system supports real-time update and expansion of ontology model, and combines RESTful API and WebSocket technology to ensure the efficiency and real-time performance of ontology operation. In terms of data processing, Pandas, template matching and ALBERT model are used for data cleaning, entity recognition and relationship extraction for structured, semi-structured and unstructured geographical data, respectively, and RDF triples are generated and stored in MongoDB. The system uses Canvas and Google Earth API to realize the visualization of 2D canvas and 3D Earth of geographical knowledge, which enhances the interactivity and intuitiveness of knowledge graph. At the same time, the graph data is analyzed by graph computing algorithm to provide support for deep mining and decision-making support of geographical information. Experiments showed that the system was efficient and flexible in dynamic ontology management, data extraction and cross-dimensional graph display, which was suitable for the general management and analysis needs of multi-source heterogeneous geographical data, and could provide a new idea for the construction and application of geographical knowledge graph.

Key words: geographical knowledge graph, WebGIS, system design, knowledge extraction

随着大数据时代的到来，网络地理信息系统（WebGIS）在地理数据的管理方面发挥着重要的作用[1]。其可在地图上绘制点、线、面的图层，然后添加属性信息或绑定响应事件进行展示[2]，还可以发挥空间分析的能力，挖掘信息背后的特殊意义[3-6]。

知识图谱作为一种将知识和认知结合的技术，用来描述客观世界的概念、实体和之间的相互关系[7]。其由节点和边构成，提供从感知跨越到认知的功能。应用于地理领域可以使地理信息关系和属性更加直观，并丰富地理数据间的联系[8-11]。

现有的地理知识图谱基本都以静态领域数据如出行轨迹数据、城市路网数据为依托，通过本体设计工具例如Protégé进行本体构建，对多源异构数据进行处理、抽取，保存在图数据库中，再利用图数据库本身的可视化能力进行数据的展示。这套构建的流程较长、繁琐且多针对静态领域知识，动态性和扩展性不

项目来源：国家自然科学基金资助项目（41976184）。
第一作者简介：何佳磊（2000—），硕士研究生，研究方向为网络地理信息系统、地理知识图谱，E-mail：1933807025@qq.com。
通信作者：黄丙湖（1977—），博士，副教授，研究方向为网络地理信息系统、移动地理信息系统、三维地理信息系统，E-mail：huangbhu@163.com，huangbhu@upc.edu.cn。

足；且图数据库本身缺乏原生的时空支持能力，在大规模二维和跨维度三维的数据处理和查询中会遇到瓶颈。本文针对空间地理数据，引入“动态本体”的概念（具体通用本体且支持自定义本体），结合WebGIS开发技术、知识抽取、Canvas、Google Earth技术设计并实现了一个高自由度、简单易操作的通用知识图谱构建系统，为多源异构地理数据的全面管理使用提供基础。

1　总体设计

1.1　总体架构

基于动态本体的跨维地理知识图谱构建系统采取多层架构，如图1所示。

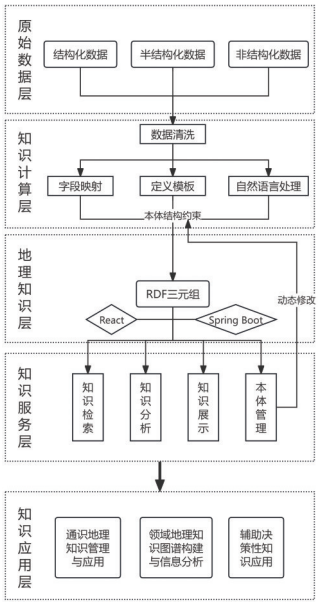


图1　系统架构

1.2　功能设计

系统的功能设计涵盖从原始数据管理到知识服务的全流程，包括本体管理、数据管理、图谱构建、知识展示、知识检索与分析等模块。本体管理模块主要负责定义和管理地理本体模型，控制地理本体、属性及关系。数据管理模块主要负责多源地理数据的采集、清洗、解析和存储以保持数据的标准化和高质量。图谱构建模块主要从地理数据中利用实体识别及关系抽取技术生成RDF三元组并存入数据库。知识展示模块将实体和关系网络以二维画板和三维地球的形式展示。知识检索与分析模块负责对实体和其所关联信息的检索，以及结合图分析算法获取实体间深层关联。

2　关键技术

2.1　动态本体设计

动态本体是指在系统运行过程中动态更新、扩展或修改的本体模型结构。动态本体技术通过前端提供本体编辑操作方式，用户对本体形成有效操作后，抽取操作的元数据（操作类型、目标本体元素、时间戳）生成变更事件传递给后端，后端校验后对数据库进行操作，再对图谱中受影响节点执行动态更新。和传统的静态本体相比，动态本体具有高灵活性和实时性，允许用户根据具体应用场景对本体结构（包括实体、属性、关系）进行调整，同时确保数据一致性和操作高效性。动态本体依托于高效的编辑接口，通过前后端协作和实时同步技术，实现本体模型和数据库的实时交互更新。

本文基于RESTful API从前端传递本体更新请求，后端通过MongoDB Java Driver技术对数据库中地理本体执行CRUD操作并将处理结果通过API反馈给前端，前端通过WebSocket的实时机制立即更新展示本体结构。实现的思路如图2所示，利用基于HTTP的RESTful API处理常规请求以校验请求操作，结合基于TCP协议的WebSocket建立客户端和服务器持久连接以实现动态本体的实时推送。在实时性保障机制方面，加入了缓存策略和事件驱动更新，利用Redis缓存本体变更记录，并以分片式Stream队列形式批量处理更新请求以减少数据库频繁操作对实时性的影响；添加增量更新机制，通过AOP切面监控本体变化，利用MongoDB聚合管道沿嵌套文档关系追溯受影响的子文档，从而对图谱中受影响节点、边和关系进行增量更新。

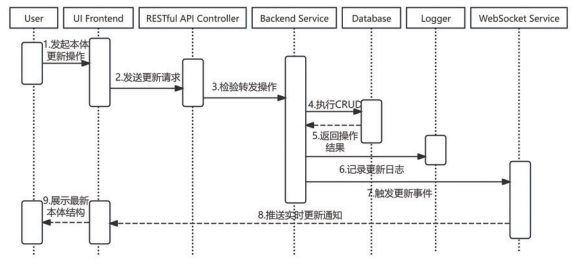


图2　动态本体操作流程

为维持动态本体的一致性和稳定性，本文添加多粒度版本控制机制和高并发冲突解决机制：

1）多粒度版本控制机制在每次本体和图谱的变更创建版本快照，使用MVVC多版本并发控制，每次提交生成版本哈希（操作ID+本体结构+时间戳），并将更新记录存入日志数据库表，后续的审查中采取多粒度回滚策略，遇到细粒度问题采取字段级回滚方案，全局问题则采用全局版本回滚方案。

2）高并发冲突解决机制采用CAS乐观锁机制，每个版本快照包含CRC32校验码。当检测到多用户并

发修改时，通过Redis分布式锁实现操作序列化，冲突解决包含3个策略：时间窗合并（5 s内的属性修改自动合并）、结构冲突仲裁（关系删除操作优先于属性修改）、人工仲裁队列（无法自动解决的冲突提交管理员权限账户人工解决）。

2.2 通用地理本体设计

在通用地理本体的设计中，本体参照《地名分类和类别代码编制规则》以及Open Geospatial Consortium制定的GeoSPARQL地理空间数据标准，将地理实体分为自然地理实体和人文地理实体两大类。自然地理实体下有地貌、地物、地表覆盖等小类，人文地理实体下有行政区域、交通设施等子实体。实体属性分为基础属性（标准名称、唯一标识符、地理坐标等）和专题属性（领域地理实体具备特殊属性，例如城市的人口、经济水平）。关系归纳为地理实体间的空间关系、功能关系和层级关系。

2.3 多源知识抽取技术

多源异构地理数据在动态本体的约束下，需要进行实体识别再提取地理知识RDF三元组并将其转化为图形化知识[12]。对地理知识的抽取根据源数据主要分为对结构化数据、半结构化数据、非结构化数据的抽取[13]。

2.3.1 结构化数据抽取

结构化地理数据的原始数据源为SQL数据库、CSV文件、Excel文件等，特点是数据的标准性、一致性，数据以二维的行列形式存在，行代表每一个地理实体，列代表实体属性。本文利用Pandas进行抽取，抽取的流程如图3所示。

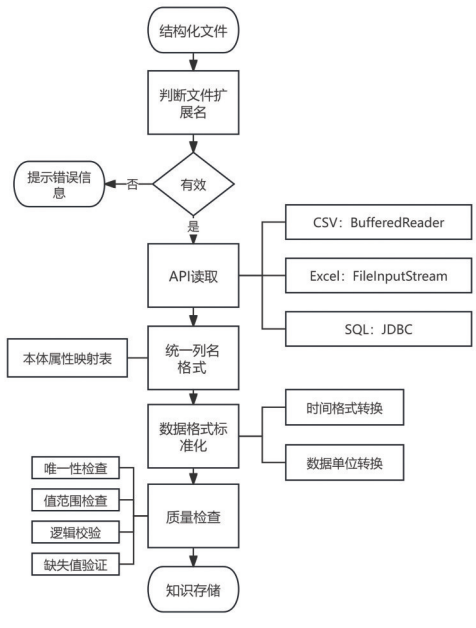


图3 结构化数据抽取流程

2.3.2 非结构化数据抽取

非结构化数据指没有固定的格式或结构，包含在自然语言文本内，需要借助自然语言处理技术来提炼知识，本文选取ALBERT模型进行抽取。ALBERT模型是轻量化版本的BERT，使用参数共享和因式分解技术以利用更少的参数确保更高的效率[14]，抽取的流程如下：

1）文本预处理，文本清洗，利用正则表达式剔除文本中的数字、字母、标点、标签的无关信息。

2）命名实体识别及关系抽取，使用包含地理实体标注的GeoNER数据集（来源于中国地理信息公共服务平台发布的标准化地名语料库，包含12万条标注样本，涵盖行政区划、自然地貌、人文设施三大类共18个子类，标注一致性通过Kappa系数≥0.85验证）和SemEval-2010 Task 8的预训练数据对模型进行微调。模型的超参数设置如下：学习率设定为3e-5，批量大小设置为16，训练轮次为4次，最大序列长度为128。

3）将抽取出的知识以转化为Json格式数据，通过后端接口保存到数据库。

2.4 跨维图谱展示技术

传统知识图谱多以图数据库为存储和展示方案，以Neo4j为例，其有强大的图数据存储和查询能力，但在可视化和存储方面受限制较大[15]。图数据库的可视化功能聚焦于图形的基本展示和节点关系的查询，但受限于本身的有限展示能力、弱交互性，实时数据更新和刷新加载能力以及多维度分析展示能力都较弱[16]。故本文在知识存储方面，选取MongoDB作为存储方案，利用其面向文档的NoSQL数据库能力，作为开发的数据源结合二维Canvas可视化和三维地球可视化进行图谱的可视化。在跨维展示的实现上，二维图谱关注实体的属性，在节点布局和动态渲染方面，结合D3.js的力导向算法（Force-Directed Layout）实现节点自适应分布[17]，减少节点的重叠，优化图谱可读性；采用分层绘制，优先绘制用户视域中心的节点和边，避免全实体渲染带来的性能瓶颈；实时交互的拖拽利用Drag API实现，通过监听节点和边的拖动更新力导向图模型以维持图谱平衡，缩放与平移继承鼠标滚轮和拖动事件。在数据交互方面，利用Canvas的Path方法精确定位鼠标悬停的节点和边，再点击右侧的抽屉栏节点属性和关联关系等。

三维图谱利用Google Earth API的三维交互功能进行实现。将知识图谱的节点数据和地理空间坐标绑定，在前端将Json数据转化为GeoJson结构，利用

Maker动态加载节点地理位置，关系则通过Polyline进行连接。在交互的体验上，结合鼠标事件绑定球体的自由旋转、缩放、倾斜视角的操作。通过惯性算法平滑调整视角，避免突兀的跳跃感。跨维图谱的主要实现API如表1所示。

表1　跨维图谱实现技术

功能	二维知识图谱	三维知识图谱
API	Canvas,D3.js	Google Earth
绘制节点	Arc(),fillRect()	createPlacemark(),new Entity()
绘制关系	moveTo(), lineTo()	createLineString(), PolylineGraphics()
交互事件	addEventListener('click')	setInputAction()
数据加载	Json直接解析	转换为GeoJson
视图调整	手动重绘	setAbstractView(),flyTo()
性能优化	requestAnimationFrame()	自动优化

3　系统实现与实验

3.1　本体管理

本体管理模块为知识图谱构建的核心，采取“动态本体”的思想，预定义通用地理本体，用户后期根据特定数据可对本体进行修改。本体管理包括本体列表管理、实体类型管理、关系类型管理、属性类型管理、属性配置管理。用户可以在此模块对本体、属性、本体属性等进行配置；为了防止本体的修改混乱，在登录前需要对用户身份权限进行控制，判断是否有修改本体的能力。

对增量更新机制和全量更新进行对比实验，实验结果表明增量更新机制将更新耗时由4.7±0.8 s降低至0.9±0.2 s，内存峰值降低62%，显著减少更新延迟。对于动态本体的更新效率，在100 000次连续本体更新压力测试（测试环境为MongoDB 6.0分片集群，数据集为包含嵌套结构的地理本体文档（平均深度4层），单个文档最大包含38个关系字段）中，本文方案（动态本体组）和传统方案（Protégé+全量覆盖组）对比显示：单次更新耗时从传统方案的120 ms±15 ms降低至18 ms±3 ms；写操作吞吐量从832 ops/s提升到5 400 ops/s。本文提出的动态本体方案表现优于传统方案。

3.2　图谱构建

在图谱构建有2种来源：文件提取知识构建和画板构建。文件构建针对SQL、CSV、Excel等常见结构化数据文件，XML、Json、GeoJson等半结构化数据文件，txt、word的非结构化文本文件。构建页面主要分为原始数据页面和抽取后知识页面，原始数据页面标注抽取后实体及其所属本体和属性信息，抽取实体及属性栏目位于中间，用户可过滤抽取信息，也可自行选择文本中忽略掉的实体。画板构建针对零散信息，在Canvas画布上右键可以构建实体及其所属本体，在2个实体之间可以通过连接线创建关系。

本文对非结构化知识抽取采取5-fold交叉验证，测试集混淆矩阵显示。地理实体识别的平均TPR为93.2%，FPR为2.1%；关系抽取的主要误差来源于“隶属关系”和“空间相邻关系”（占比68.3%），最终测试集精确率、召回率和F_{1_score}值均达到0.93±0.02（95%置信区间）。

3.3　知识展示

知识展示主要以列表展示、画板展示、地图展示。列表展示利用分页查询提供对全量地理知识的结构化展示：实体信息、属性信息（通用属性信息和用户自定义属性信息）、实体关系信息的查看和编辑。画板展示利用H5的Canvas容器作为底层，展示地理实体及其关系，支持自定义头像、属性、颜色等信息，便于建立实体间距离及其他关系。地图展示结合Google Earth API实现二维图谱和三维地图的映射，通过地理坐标将实体展示在地球上，支持空间区域搜索和不同场景间数据拖拽式交互分析。用户可以在实体库搜索所需知识并选择条数展示实体的关联。

在存储和查询方案上，以MongDB为存储方案，结合K-hop深度图遍历技术，在同一台测试计算机查询3°以上图数据速率显著优于Neo4j，5°以上查询速率为其10倍，具体表现如表2所示。

表2　MongDB和Neo4j查询多跳耗时

跳数	节点数	Neo4j用时/s	动态本体图谱用时/s
1	66	0.032	0.011
2	170	0.021	0.017
3	1 201	0.259	0.076
4	3 988	2.168	0.182
5	34 456	109.167	1.949
6	61 982	无响应	4.577

3.4　知识分析

知识分析功能针对Canvas画板所选中的图谱内容进行分析，用户选中画板中的图谱内容，在右侧的抽屉栏可选择所需要利用的图计算算法进行图分析（即相邻三角形、PageRank、鲁汶社区、介数中心度算法），图论算法迁移到图谱领域量化分析地理图谱的空间聚集性、高影响力空间实体、地理临近性社区、连接枢纽，并以此为依据辅助分析决策。

4　结　语

本文针对当前地理知识图谱构建流程繁琐、领域特定化严重、本体通用性和灵活性不足等问题，以及

过度依赖图数据库导致地图联动与分析能力较弱的现状，提出了“动态本体”的实现方法。基于知识抽取、WebGIS开发技术和二三维可视化技术，构建了地理知识图谱系统。该系统实现了地理数据的本体管理、图谱构建、知识展示和知识分析等核心功能模块，能够动态更新知识库内容，确保其时效性和准确性，并有效促进复杂多源数据的集成。未来，该系统可广泛应用于智慧城市建设、灾害应急管理、土地规划等领域，为动态、复杂的数据场景提供有力支持，进一步推动地理信息领域的智能化发展。

参考文献

[1] 廖小罕. 大数据时代的中国地理学[J].全球变化数据学报(中英文),2019,3(4):311-316

[2] 黄丙湖,王福源. 基于WebGIS的供需地图系统设计与实现[J]. 地理空间信息,2023,21(8):89-91

[3] 隆学丰. 城市尺度下COVID-19传播关系分析与可视化平台研发[D]. 石河子:石河子大学,2023

[4] 刘峰,王海起,王鑫冉,等. 基于WebGIS的天然气管网路由系统研究[J]. 地理空间信息,2024,22(8):76-80

[5] 雷鸣,姜罕盛,梁健. 基于WebGIS的大数据图形渲染技术[J]. 计算技术与自动化,2024,43(2):105-109

[6] 何敏灿,潘婵玲,鲍资元,等. 基于WebGIS的矢量数据加载功能设计与实现[J]. 智能城市,2024,10(4):46-48

[7] 王天一,孟小亮,张华. 一种面向生态环境领域的知识图谱构建方法[J]. 地理空间信息,2023,21(1):14-19

[8] 王昊奋,漆桂林,陈华均 .知识图谱:方法、实践与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2019

[9] 陈年松. 基础地理实体关系的知识图谱构建方法研究[J]. 地理空间信息,2024,22(6):20-24

[10] 李璇,吴雷,姜梦,等. 基于轨迹大数据的司机出行知识图谱构建与实现[J]. 地理空间信息,2023,21(1):32-35

[11] 贺康杰,许俊奎,庄清文. 一种面向地图认知的城市道路知识图谱构建方法[J]. 测绘工程,2024,33(2):41-48

[12] 刘峤,李杨,段宏,等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机研究与发展,2016,53(3):582-600

[13] 张吉祥,张祥森,武长旭,等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机工程,2022,48(3):23-37

[14] 谢庆,蔡扬,谢军,等. 基于ALBERT的电力变压器运维知识图谱构建方法与应用研究[J]. 电工技术学报,2023,38(1):95-106

[15] 王余蓝. 图形数据库NEO4J与关系据库的比较研究[J]. 现代电子技术,2012,35(20):77-79

[16] 史政一,吕君可,黄弘. 基于Neo4j的城市地下管道信息知识图谱构建研究[J]. 中国安全生产科学技术,2024,20(6):5-10

[17] 漆桂林,高桓,吴天星. 知识图谱研究进展[J]. 情报工程,2017,3(1):4-25

（上接第78页）

Science,2012,26(5):855-880

[14] Benz S A, Weibel R. Road Network Selection for Medium Scales Using an Extended Stroke-mesh Combination Algorithm[J].Cartography and Geographic Information Science, 2014,41(4):323-339

[15] Zhou Q, Li Z L. Empirical Determination of Geometric Parameters for Selective Omission in a Road Network [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2016,30(2):263-290

[16] Li C M, Liu X L, Wu W, et al. An Automated Method for the Selection of Complex Railway Lines that Accounts for Multiple Feature Constraints[J]. Transactions in GIS, 2019, 23(6):1296-1316

[17] Mazur R E, Castner H W. Horton’s Ordering Scheme and the Generalization of River Networks[J]. The Cartographic Journal,1990,27(2):104-112

[18] Thomson R C, Brooks R. Efficient Generalization and Abstraction of Network Data Using Perceptual Grouping [C]// Proceedings of the 5th International Conference on Geo-Computation,2000:23-25

[19] Ai T H, Liu Y L, Chen J. The Hierarchical Watershed Partitioning and Data Simplification of River Network[C]//A Riedl, W Kainz, G A Elmes, (Eds.), Progress in spatial data handling,Springer,Berlin,Germany,2006:617-632

[20] Gong X Y, Wu F. A Typification Method for Linear Pattern in Urban Building Generalization[J]. Geocarto International,2016,33(2):1-19

[21] Congalton R G.Exploring and Evaluating the Consequences of Vector-to-raster and Raster-to-vector Conversion [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,1997,63 (4):425-434

[22] 蔡娇楠,杨德芳,孟妮娜. 遵循格式塔原则的多约束地图居民地聚类研究[J]. 地理空间信息,2024,22(5):53-56