

基于地理实体的时空信息服务平台关键技术研究与实践

赵健¹, 周松^{2*}, 饶加旺²

¹江阴市自然资源规划综合服务中心, 江苏 无锡

²江苏省测绘工程院, 江苏 南京

收稿日期: 2024年1月18日; 录用日期: 2024年1月31日; 发布日期: 2024年2月29日

摘要

新型基础测绘体系建设,是在满足各行业对地理信息数据新需求的前提下,推动整个测绘行业向实体化、先行化、扩展化发展的当务之急。地理实体数据库及平台建设作为新型基础测绘的核心内容和应用基础,能够显著增强基础测绘有效供给,推进各类专题空间数据的汇聚和融合,促进数据之间的相互支撑和共生,有力支撑自然资源精细化管理和经济社会高质量发展。本文在充分研究多元时空信息一体化、海量三维空间数据管理及多态地理实体融合等关键技术的基础上,融合了三维时空信息、各类扩展专题信息,设计并实现了基于地理实体的时空信息服务平台。平台具有查询统计、专题制图、关系图谱、一体多态等功能,并以实体编码为链,扩展了公安人防、社会治理、工业用地、教育医疗等多种专题信息,能够为政府部门提升社会治理现代化水平提供有力支撑,凸显了基础测绘在经济社会发展中的基础性保障作用。

关键词

新型基础测绘, 地理实体, 一体化, 平台

Research and Practice on Key Technologies of Spatiotemporal Information Service Platform Based on Geographic Entities

Jian Zhao¹, Song Zhou^{2*}, Jiawang Rao²

¹Jiangyin Natural Resources Planning Comprehensive Service Center, Wuxi Jiangsu

²Jiangsu Province Surveying and Mapping Engineering Institute, Nanjing Jiangsu

Received: Jan. 18th, 2024; accepted: Jan. 31st, 2024; published: Feb. 29th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 赵健, 周松, 饶加旺. 基于地理实体的时空信息服务平台关键技术研究与实践[J]. 可持续发展, 2024, 14(2): 518-533. DOI: 10.12677/sd.2024.142062

Abstract

The construction of a new basic surveying and mapping system is an urgent task to promote the development of the entire surveying and mapping industry towards entity, advancement, and expansion, while meeting the new demands of various industries for geographic information data. The construction of geographic entity databases and platforms, as the core content and application foundation of new basic surveying and mapping, can significantly enhance the effective supply of basic surveying and mapping, promote the aggregation and integration of various thematic spatial data, promote mutual support and symbiosis between data, and effectively support the refined management of natural resources and high-quality economic and social development. Based on a thorough study of key technologies such as the integration of diverse spatiotemporal information, massive management of two-dimensional and three-dimensional spatial data, and the fusion of polymorphic geographic entities, this article integrates two-dimensional and three-dimensional spatiotemporal information, various extended thematic information, and designs and implements a spatiotemporal information service platform based on geographic entities. The platform has functions such as query statistics, thematic mapping, relationship graph, and integrated polymorphism, and uses entity codes as a chain to expand various thematic information such as public security and civil defense, social governance, industrial land, education and medical care. It can provide strong support for government departments to improve the modernization level of social governance, highlighting the fundamental guarantee role of basic surveying and mapping in economic and social development.

Keywords

New Basic Surveying and Mapping, Geographical Entities, Integration, Platform

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济社会的高速发展，为满足各行各业在时空信息方面的需求，基础测绘工作面临着越来越多的困难与挑战，急需填补测绘技术在智能化、动态性和精确度等方面存在的不足，全面提升测绘地理信息保障服务能力。因此，开展新型基础测绘体系建设，在满足各行各业对地理信息数据需求的前提下，推动整个测绘行业向实体化、先行化、扩展化发展，确保其能够拥有完善的服务支持，能够在经济效益以及社会效益获取中发挥出更大的作用[1]，已成为当务之急。推动新型基础测绘建设工作，不仅是贯彻落实自然资源部的工作部署，也能为数字经济提供重要的战略性数据资源和生产要素，对于推进数字产业化、产业数字化，促进数字经济和实体经济深度融合具有重要作用。

在新型基础测绘体系中，地理实体数据库及平台建设是核心内容和应用基础。地理实体数据面向具体的业务应用场景，能够显著增强基础测绘有效供给，推进各类专题空间数据的汇聚和融合，促进数据之间的相互支撑和共融共生，使得新型基础测绘成果不仅“好看”，更加“好用”，有力支撑自然资源精细化管理和经济社会高质量发展。

2. 研究和应用现状

我国在“十二五”到“十三五”期间大规模开展“数字城市地理空间框架”和“智慧城市时空大数

据平台”建设。经过十余年的努力，全国共开展了 600 多个数字县域地理空间框架建设项目，成果应用范围涉及政府管理决策、公共安全、应急保障、资源开发利用、重大工程建设以及百姓生活等各个方面 [2] [3] [4]，大多数地区的时空数据服务能力得到了质的提升，围绕政府管理职能和公众生活需求构建起了一大批典型应用场景，对政府决策的科学性帮助巨大，对于带动经济增长的作用较大 [5]。

在“数字城市”阶段，通过构建时空数据集，利用公共服务平台支撑政府、企业、公众对时空数据的应用需求 [6]；在“智慧城市”阶段，通过构建物体与互联网的链接实现物联网的应用，GIS 则为信息传递提供了有效的支撑，从而使城市构建更加智能化 [7]。但随着应用场景复杂程度和应用要求的不断提升，传统测绘产品的弊端也越来越明显，主要表现在：一是传统测绘产品多面向制图表达设计，不同比例尺之间的数据相互分离，没有衔接，缺少逻辑关联；二是传统测绘产品重视数据生产管理，缺乏数据治理，易忽略统筹协调，存在资源共享不足、冗余度高的问题；三是传统测绘产品“重二维轻三维”，要素难以表达立体空间特征，对象化程度较低，无法进行要素的统计、检索和分析；四是自然地物表达精细度大数据服务化程度明显不够，成果难以与专业信息挂接，要素分级分类与具体的业务工作要求不统一，“两支撑、两服务”能力较为欠缺。

因此，围绕新时期测绘地理信息事业服务政府决策、社会管理、行业应用和自然资源管理业务等方面的需求，基础测绘成果体系应尽快进行转型升级，解决数据的对象化、分类、等级划分、属性标准化等问题，构建起面向地理实体的时空信息服务平台，并具备基础地理信息共享、数据交换、数据关联、查询检索能力，达到“行业资源融合、数据服务共享、主动式变化发现”的目标。

3. 关键技术

3.1. 多元时空信息一体化技术

将三维显示数据采用文件系统存储，以提高数据调度响应速度；遥感影像数据和 DEM 数据采用影像金字塔技术和 JPEG 进行数据组织和压缩存储；属性数据采用数据库存储，以满足属性数据丰富多样性、维护更新频繁等管理特点需要；矢量数据采用二维 GIS 空间数据引擎进行存储。最终实现对不同来源、不同格式、不同分辨率的时空数据的高效集成、统一管理和深度分析，以满足各类应用场景的需求。属性数据与空间数据通过关键词进行关联，以达到功能、管理的相对独立性；空间数据与三维显示数据通过关键词进行关联。将二维和三维统一到一个真实的地理空间(球面空间)中，真正实现了二三维一体化的有机结合，主要流程包括了数据整合、数据管理、数据分析、应用服务。

1) 数据整合：对多元时空数据进行预处理、转换和融合，使其在数据格式、坐标系、分辨率等方面达到一致性。

2) 数据管理：采用二维 GIS 空间数据引擎进行存储，实现多元时空数据的高效存储、查询和更新，在实施过程中数据模型兼顾空间、时间和属性等多维信息。

3) 数据分析：开发针对多元时空数据的挖掘、分析和可视化方法，提取有价值的信息，为决策支持提供依据。分析方法需要考虑时空数据的独特特性，如时序性、周期性、趋势性等。

4) 应用服务：将多元时空数据与各类业务场景相结合，提供定制化的应用服务。例如，在气象、地质、环境等领域，利用多元时空数据进行预测、模拟和监测。

3.2. 海量二三维空间数据管理技术

3.2.1. 数据动态加载技术

针对空间数据类型丰富、来源多样、数据量巨大等大数据特征，在传统的三维模型数据可视化技术的基础上，融合了实时遮挡数据裁剪算法、四叉树结构的细节层次(LOD)模型和数据动态装载技术快速

地显示、分析海量三维数据，优化创新了流程和算法，模拟人的自然观察方式来表现具有丰富几何细节和相片质感的三维城市模型，具有与现实世界一致的视觉体验和空间感知，同时大大提升了系统的三维可视化性能。

数据动态加载技术采用基于数据分层、分块以及数据页动态更新的算法，实现多层次、大范围的城市场景实时描绘。同时，为消减“延迟”，利用多线程运行机制充分利用计算机的 CPU 资源，即在横向漫游以及纵向细节层次过渡的过程中，根据视点移动的方向趋势，预先把即将更新的数据从硬盘中读入内存，而其后实际的数据更新则是在内存里实现，如图 1 所示。

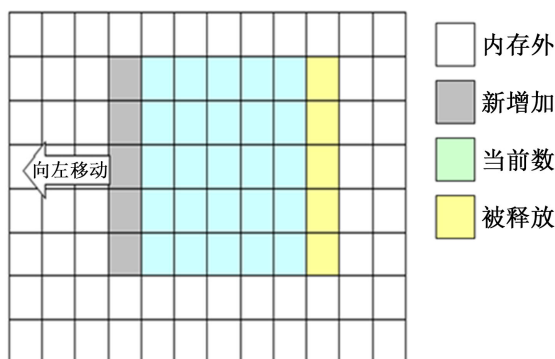


Figure 1. Establishment of dynamic data page based on block data

图 1. 基于分块数据的动态数据页的建立

3.2.2. 实时遮挡裁剪技术

实时遮挡裁剪技术是在图形流水线的早期就去掉不可见多边形，以避免对场景中不可见部分不必要的处理。其核心思想是：首先利用若干遮挡物(根据视点移动的先验知识进行选择，比如沿街道漫游就可以将临近街边的建筑作为遮挡物)进行简单的可见性测试，以识别场景的某些区域(空间凸壳范围，也即层次结构的包围盒)是否被全部或部分遮挡，然后再进行所有瞬间视点附近的大型遮挡物识别预处理，最后又反复进行一种层次结构的可见性测试，以保证尽量少的、离视点近的动态遮挡目标数组被处理，如图 2 所示。该方法使用一种 KD 树来组织多边形数据，充分利用了空间连贯性，同时缓存跨视点的遮挡关系和大型遮挡物，又充分利用了视点移动过程中的时间连贯性，因此对城市三维景观的实时处理具有较高的效率。

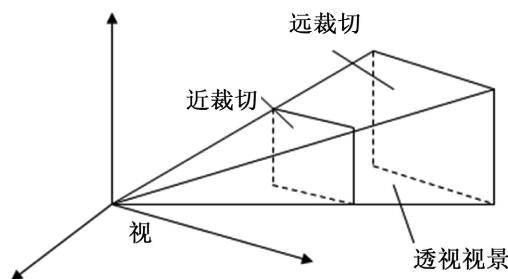


Figure 2. Data clipping for perspective display

图 2. 透视显示之数据裁剪

3.2.3. 多分辨率 LOD 技术

采用视相关的 LOD 简化方法依据视点的位置和方向合理地选择多分辨率的地图表示，视点周围的地

形用高细节的层次表示，远离视点的区域用较粗糙的细节表示。提高绘制效率可以通过对四叉树的分割来实[8]，即将地形分割成一个个大小不同的地块，近视点分割得大些，远视点分割得小些。渲染这些大小不同的正方形地块，从而达到 LOD 不同细节层级渲染的目的，有效简化、控制场景的数据复杂度。采用这种方法时，要将原始的地图数据进行处理，经过原始栅格数据→中间成果→包成果数据三个阶段，其中在由原始数据生成中间数据的过程中，需要设置投影参数和处理级别。随着视点的移动进行重采样和建立金字塔；之后，再对中间数据进行修改，主要是勾选，设置背景数据进行融合；最后，再将修改后的中间数据，通过打包生成系统加载的包数据格式。具体处理流程图如图 3 所示。

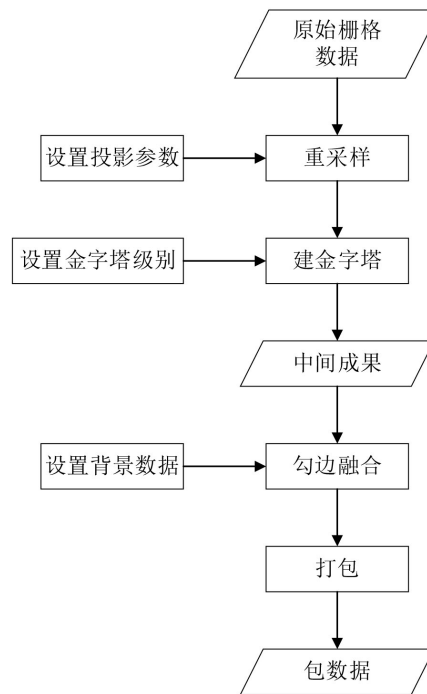


Figure 3. LOD technology processing flow of quadtree structure

图 3. 四叉树结构的 LOD 技术处理流程

3.3. 多态地理实体融合技术

3.3.1. 倾斜三维模型轻量化

为了优化三维模型的展示性能和加载速度，采用模型纹理压缩的方法，KTX2 (Khronos Texture)是一种纹理存储格式，它能够有效降低设备的显存占用，提高运行效率和稳定性，减少模型复杂性，在保持模型细节的同时，提高模型渲染效果和交互体验，优化流程图如图 4 所示。

3.3.2. 三维建筑模型单体化

三维建筑模型单体化中最重要的一个步骤是快速获取建筑物完整的影像数据，这是决定建模质量的关键[9]。具体分为：

1) 逻辑单体化

对倾斜三维模型中的对象叠加二维矢量底面，在渲染层面实现建筑物、道路等地物单体化，并通过矢量面作为载体进行属性挂接，从而实现对象的单独管理、属性查询等功能。

2) 物理单体化

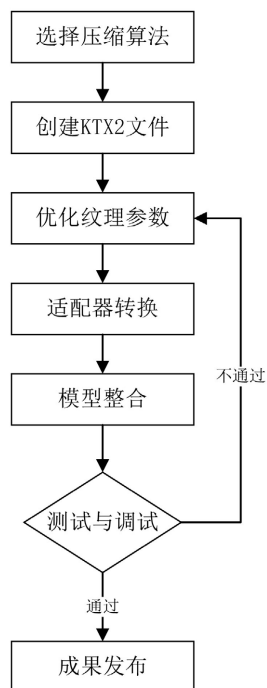


Figure 4. Model texture optimization process

图 4. 模型纹理优化流程

通过人工重建的方式将建筑物、道路等对象进行物理分离，重建的实体能够进行编辑和修改并附加属性来实现查询，模型物理单体化流程如图 5 所示。

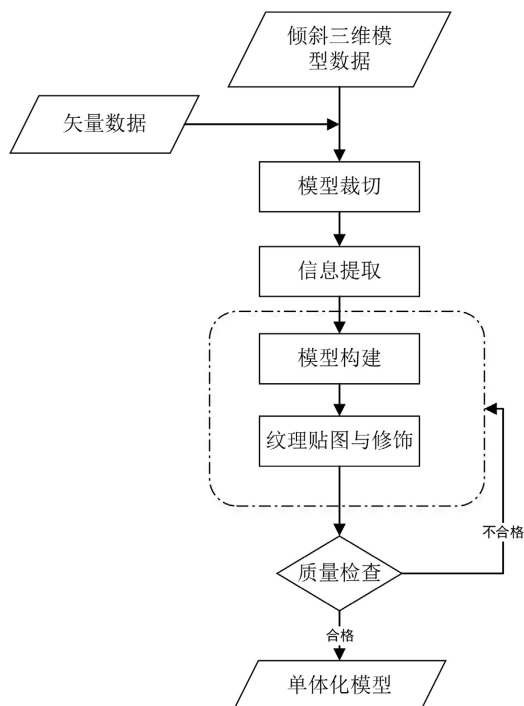


Figure 5. Physical unitization process

图 5. 物理单体化流程

- 1) 模型裁切：以倾斜三维模型数据和物理单体化范围内的矢量数据进行叠加，通过裁切模型获取物理单体化范围内的倾斜三维模型数据。
- 2) 信息提取：利用智能化算法与人工交互的方式，从倾斜三维模型上自动提取地物的边界。
- 3) 建立三维模型：对提取出的建筑物进行三维重建和单体化处理，包括去除冗余信息、修复模型缺陷、调整纹理等。这一步的目的是使每个建筑物模型都具有完整的结构和属性，便于后续编辑和处理。
- 4) 纹理贴图与模型修饰：将单体化后的建筑物模型进行纹理贴合和拼接，对有色彩偏差的纹理进行修饰，包括优化模型细节、压缩模型大小。
- 5) 质量检查：对已生成的单体化模型进行质量检查，检查模型的纹理贴图是否紧凑、部件信息是否缺失等，检查合格后形成单体化成果。

3.3.3. 白模实体化

在实景三维模型未覆盖区域，使用建筑物层数计算建筑物高度，其他区域采用 DEM 与 DSM 数据计算建筑物高度。在获取所有房屋要素高度后，拉伸高度，获取建筑物白模数据，同时绑定房屋实体属性信息，流程如图 6 所示。

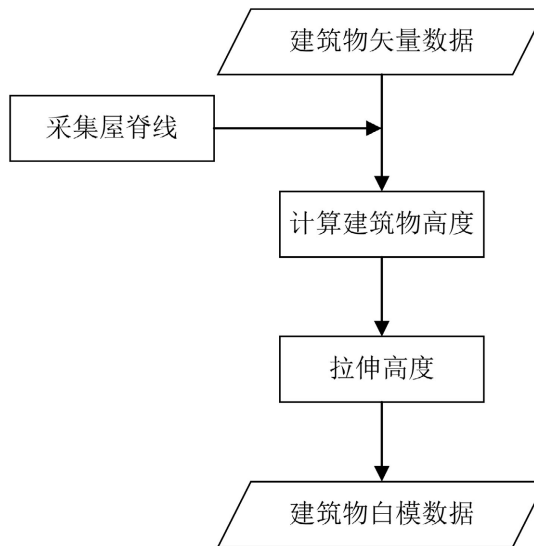


Figure 6. White mold materialization flow chart
图 6. 白模实体化流程图

3.3.4. 二三维融合

实景三维作为反映人类生产、生活和生态空间的时空信息，不仅可以帮助人们更好地了解和掌握实际物体的形状、尺寸和表面特征，还能够为各个领域提供更精准、更直观的数据支持[10]。实景三维既要求其展示形式真实、立体、时序化，同时也强调数据结构化、语义化、可人机兼容，因此将地理实体二三维数据进行融合，是实景三维建模的需要，也是最基本的要求，技术流程如图 7 所示。

- 1) 数据预处理：对获取到的实景三维数据和矢量数据进行预处理，包括数据清理、配准、去噪等操作，以确保数据的准确性和一致性。
- 2) 坐标统一：将实景三维数据和矢量数据的坐标进行统一，以确保它们在同一坐标空间中。
- 3) 几何对齐：通过点云配准、特征匹配等方法，将实景三维数据和矢量数据进行几何对齐，使它们在几何上吻合。

4) 数据融合：将实景三维数据和矢量数据进行融合，将矢量数据的几何和属性信息以一定样式绘制在实景三维模型的表面，形成语义化、结构化的融合成果。

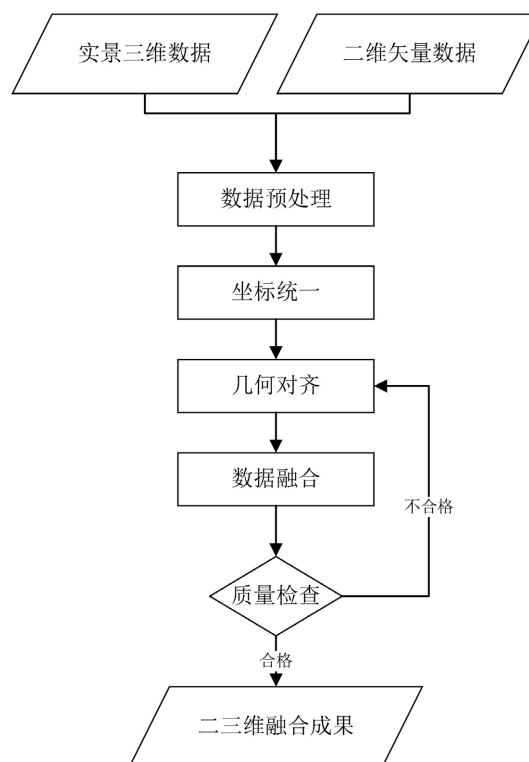


Figure 7. 2D and 3D data fusion technology flow chart
图 7. 二三维数据融合技术流程图

4. 平台建设

4.1. 总体架构

基础地理实体应用平台基于现代地理信息系统(GIS)技术、计算机视觉和大数据技术的综合应用架构，旨在实现对基础地理实体的可视化展示、分析和管理的，如图 8 所示。

1) 数据层：主要包括基础地理信息数据、地理实体数据、影像数据、属性数据等。这些数据来源于基础地理信息数据库和基础地理实体数据库、专题数据，为可视化平台提供丰富的地理信息数据支持。

2) 数据处理与存储层：对收集的各类数据进行处理、整合和存储。包括数据清洗、数据转换、数据融合、数据入库等操作。此外，利用空间数据引擎和图数据库对海量数据的入库，为后续高效管理和查询提供数据支持。

3) 数据引擎层：数据引擎主要负责管理、分析和更新各类地理信息数据，为平台提供强大的数据支持。数据更新与维护模块对平台中的数据进行更新和维护，包括数据补全、数据修复、数据删除等，确保数据的准确性和时效性。

4) 用户界面层：这是用户与基础地理实体可视化平台交互的界面，采用 Web 浏览器，用户通过地图浏览、属性查询、分析工具等方式，轻松获取和处理基础地理实体数据。

5) 应用服务层：这一层面向各类用户提供基础地理实体可视化的查询、联动更新、专题制图等服务。通过 WebGIS 技术，实现跨平台、跨地域的应用需求。

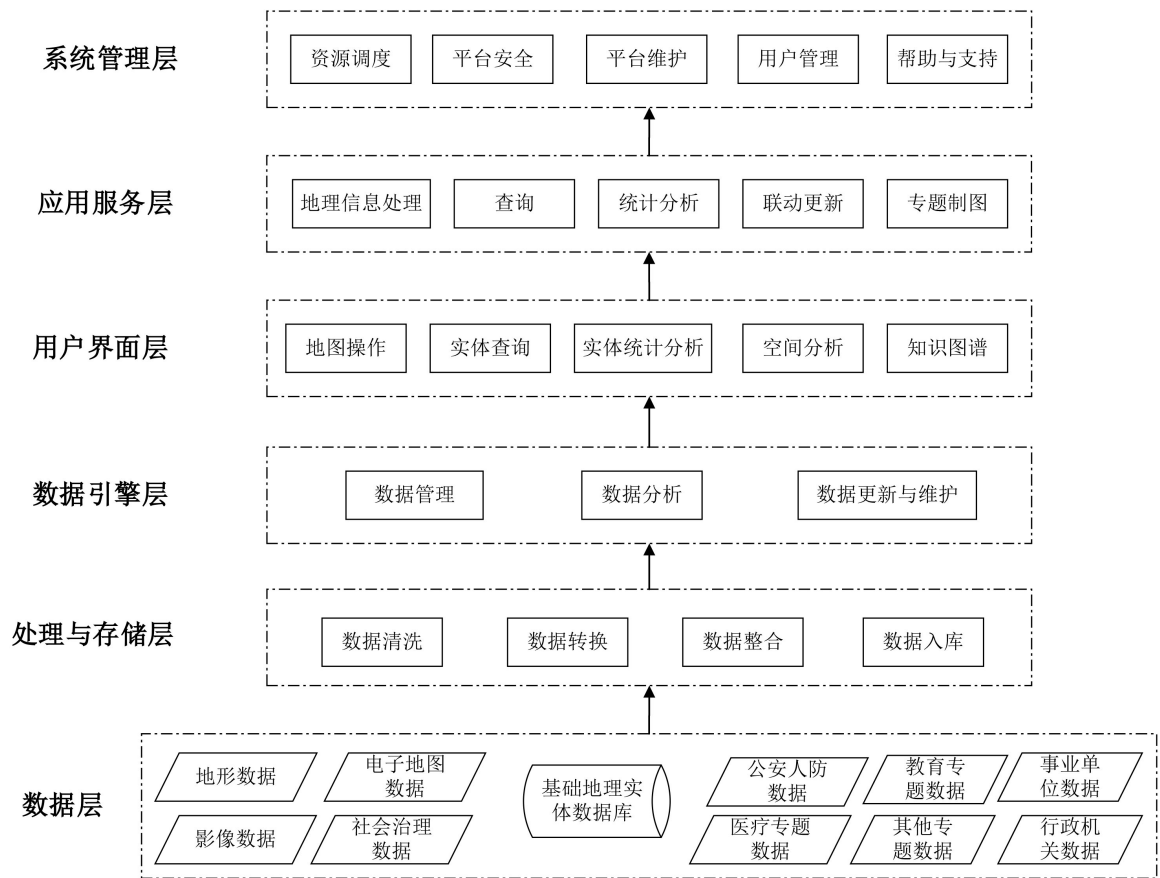


Figure 8. Overall platform architecture diagram
图 8. 平台总体架构图

6) 系统管理层：主要负责对整个平台进行监控、调度和维护，确保平台高效、稳定、安全运行。资源调度负责根据用户需求和系统资源状况，智能地分配任务和资源，提高平台的响应速度和负载均衡；平台安全确保平台中的数据安全和隐私保护；平台维护对平台进行日常维护和故障排查，确保平台的稳定运行，包括软件更新、漏洞修复等；用户管理对平台的运行日志进行收集、整理和分析，以便于追踪问题来源、评估系统性能和优化系统功能；帮助与支持为用户提供技术支持和咨询服务，解决用户在使用过程中遇到的问题。

4.2. 功能模块

4.2.1. 查询浏览模块

查询浏览模块是在数据管理模块的基础上，对地理场景、自然地理实体、人工实体和管理实体进行统一管理并组织，提供实体数据的查询与浏览，功能结构如图 9 所示。

1) 数据浏览

该模块提供给用户对地理场景及实体数据的平移、缩放、旋转等功能，方便用户从各个角度查看各类数据。

2) 数据管理

以目录树的形式，对平台中的多源数据进行结构化多层级管理展示。用户可整体浏览平台中的所有数据，可对数据按照类别进行打开或关闭，同时可对矢量实体进行透明度控制。

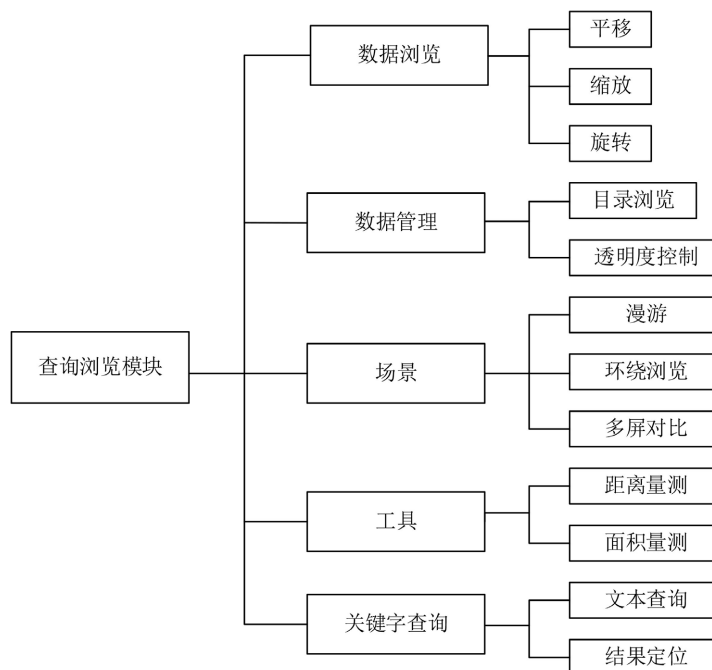


Figure 9. Query and browse module function structure diagram

图 9. 查询浏览模块功能结构图

3) 场景

考虑到平台为二三维一体化平台,除提供给用户基础的浏览功能外,还提供了场景漫游、路径漫游、环绕浏览和多屏对比的功能,如图 10 所示。

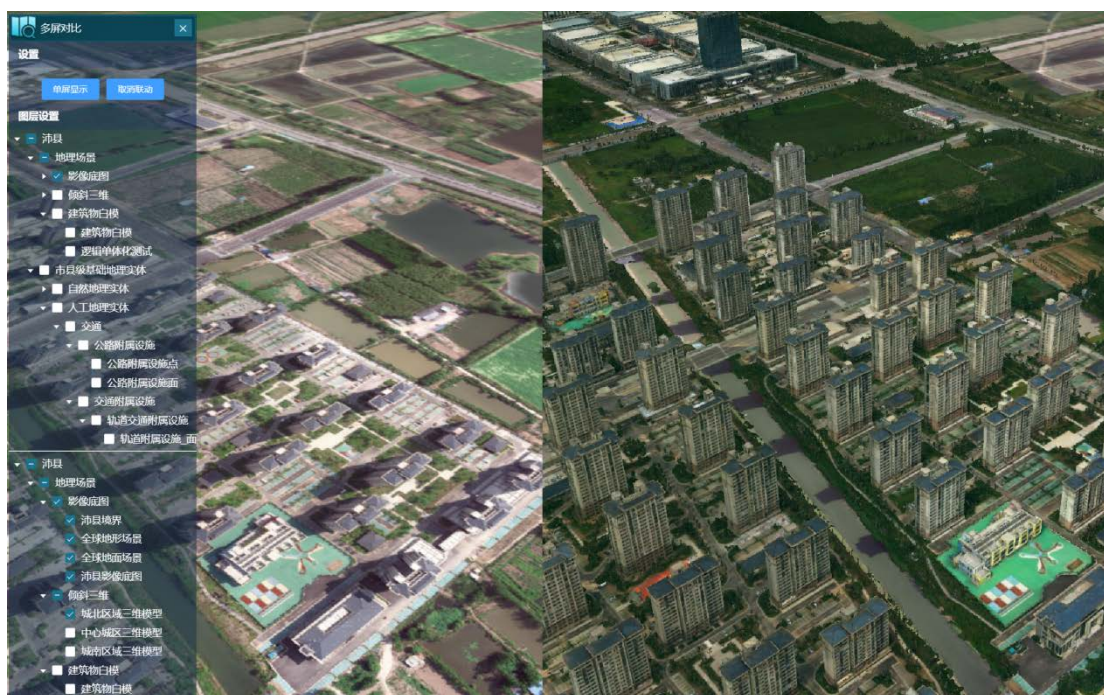


Figure 10. Multi-screen comparison function

图 10. 多屏对比功能

4) 工具

在三维场景中，平台提供了水平距离、垂直距离、空间距离、水平面积和空间面积的量测功能，让用户能够对数据的大小、长度、面积有更深入的了解。

5) 关键字查询

关键字查询模块通过对实体基本表进行模糊查询，得到所有的实体列表，展示了实体的基本信息，包括名称、区划、类别等信息。对查询到的实体结果可居中定位并高亮展示其实体图元，方便用户对查看该实体所包含的图元，如图 11 所示。



Figure 11. Keyword query function
图 11. 关键字查询功能

4.2.2. 统计分析模块

为了方便用户从宏观的角度分析和理解地理实体数据，平台通过人机交互的方式，统计分析出所绘区域的地理实体类别、个数、长度、面积等信息，并以柱状图的形式形象地展示统计分析结果，功能结构如图 12 所示。

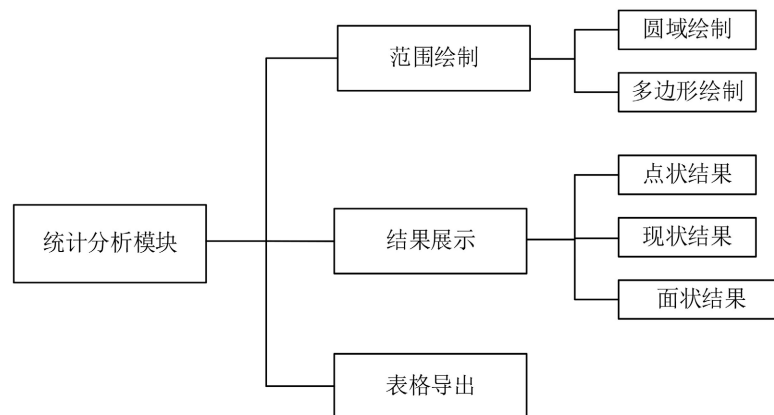


Figure 12. Functional structure diagram of statistical analysis module
图 12. 统计分析模块功能结构图

4.2.3. 专题制图模块

专题制图模块以专题应用为导向,通过区域范围选取、底图选择、框架数据图层选择、标准图件下载等功能实现专题制图与输出,功能结构如图 13 所示。

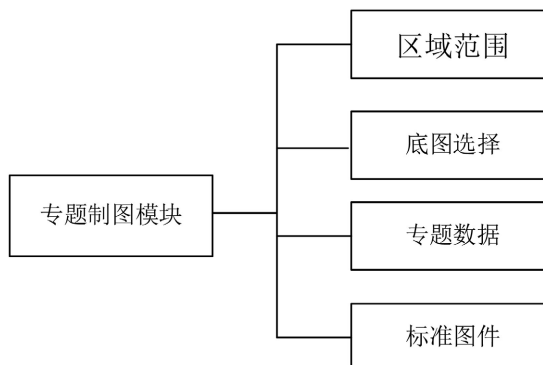


Figure 13. Functional structure diagram of thematic mapping module

图 13. 专题制图模块功能结构图

4.2.4. 关系图谱模块

语义信息是地理实体的重要组成部分,在地理实体的管理应用中发挥着重要作用。地理实体包含的语义信息的多少,直接关系到地理实体应用的广度和深度。语义化是地理实体数据的重要特征之一,对于实现人机兼容理解、推动数据服务向知识服务发展具有重要意义,因此需要对基础测绘数据进行实体化改造,抽取语义关系信息,开发关系图谱可视化界面。

1) 语义关系抽取

地理实体语义关系抽取是从结构化的关系数据库(RDB)中抽取地理实体间的语义关系,形成 RDF 三元组数据结构的过程。RDF 通常是存储为<实体 A, 关系, 实体 B>的三元组形式。RDF 三元组模型是当前关系图谱常用的一种数据模型。采用 RDF 三元组结构存储语义关系,只需要创建各类地理实体对象,对象之间不需要主键、外键,也不需要中间表,只保留必要的属性即可,各个对象直接通过关系指向来表达实体之间的复杂关系,因此可以更加简洁、明确地描述数据间的复杂关系,其模型结构如图 14 所示。

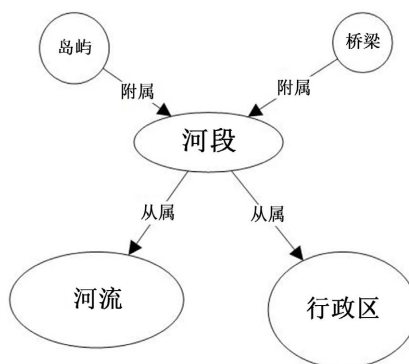


Figure 14. RDF triple model of geographical entity semantic relationship

图 14. 地理实体语义关系的 RDF 三元组模型

2) 图数据库建库

平台使用图数据库存储抽取出的 RDF 格式语义关系信息。在图数据库中，数据以图的形式表示，由节点(实体)和边(关系)组成。这种数据库特别适合处理复杂的关系和网络。通过将语义关系信息存入图数据库，每个实体映射为图数据库的一个节点，每个关系映射为图数据库的一条边。通过操作图数据库的节点、关系、属性等对象进行事务管理，具体流程如图 15 所示。

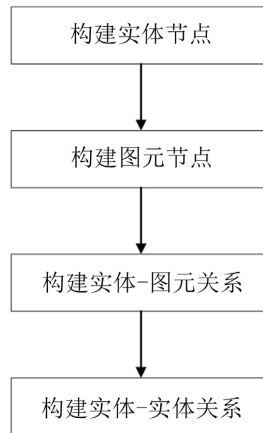


Figure 15. RDF triples storage process in graph database

图 15. RDF 三元组存入图数据库流程

3) 关系图谱可视化

基于图数据库进行关系图谱的可视化，以院落实体为例，其关系图谱如图 16 所示所示，关系图谱中的每个节点代表一个和该院落实体有关系的地理实体。



Figure 16. Relationship map of courtyard entities

图 16. 院落实体的关系图谱

4.2.5. 一体多态模块

一个实体有多种空间表现形式，包括倾斜模型、白模、省级地理实体、市县级地理实体等。该模块以小场景的形式，着重展示某个实体的多种空间特征，如图 17 所示为一体多态模块功能结构图。

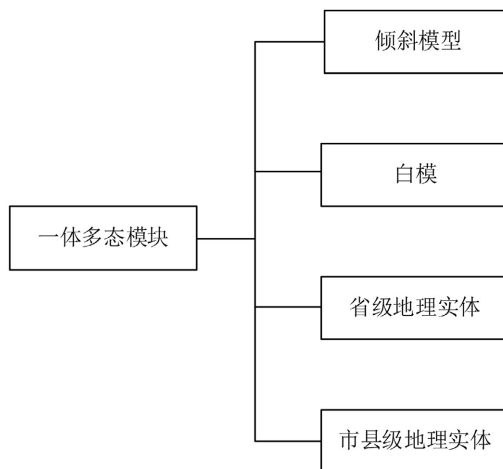


Figure 17. Functional structure diagram of integrated polymorphic module

图 17. 一体多态模块功能结构图

4.2.6. 扩展应用模块

平台不仅能够展示基础地理实体信息，同时还可将收集到的专题数据与其关联，展示多项地理实体数据信息，实现了基础地理实体从自然属性到社会属性的信息扩展，包括教育、医疗、宗地、社会治理、公安人防、事业单位、工业用地、公共厕所、养老机构、行政机构等多类数据。

1) 扩展属性

平台在实体属性特征中对扩展属性进行了展示，展示内容包括各个专题数据的关键信息，丰富了实体的属性信息，如图 18 所示。



Figure 18. Extended attribute display

图 18. 扩展属性展示

2) 公安人防信息

平台将公安人防信息与院落中的小区进行了关联, 可以查看小区信息、人员信息、楼幢信息、分户信息、房屋信息、学历分布、人口分析等, 如图 19 所示。



Figure 19. Public security civil defense information
图 19. 公安人防信息



Figure 20. Industrial land indicator analysis page
图 20. 工业用地指标分析页面

4) 工业用地指标信息

平台接入了工业用地相关信息,包括地块属性、企业信息、地块及企业近 12 个月的产值、上缴税费、销售收入等指标分析数据。平台以微页面的形式,图文结合地进行了展示,使用户对工业用地信息有详细的了解。图 20 所示为工业用地指标分析页面。

5. 结束语

本文在充分研究多元时空信息一体化、海量二三维空间数据管理及多态地理实体融合等关键技术的基础上,融合了二三维时空信息、各类扩展专题信息,设计并实现了基于地理实体的时空信息服务平台。平台具有查询统计、专题制图、关系图谱、一体多态等功能,并以实体编码为链,扩展了公安人防、社会治理、工业用地、教育医疗等多种专题信息,能够为政府部门提升社会治理现代化水平提供有力支撑,凸显了基础测绘在经济社会发展中的基础性保障作用。

参考文献

- [1] 翟宏宇. 关于新型基础测绘体系建设的几点思考[J]. 科技创新与生产力, 2022(10): 69-71.
- [2] 江威, 谭仁春, 卢丹丹, 等. 国土空间规划编制与管理“一张图”建设[J]. 测绘地理信息, 2021, 46(S1): 170-173.
- [3] 路明, 张天闯, 赵丽娜. 数字县域地理空间框架 DOM 生产研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(z1): 163-165.
- [4] 原有军. 数字汾阳地理空间框架建设项目正式启动[J]. 经纬天地, 2016(1): 10.
- [5] 董志江. 测绘地理信息在智慧城市建设中的作用研究[J]. 地矿测绘, 2021, 4(1): 115-116.
- [6] 任翔. 数字城市建设中基础测绘的有效应用[J]. 工程技术研究, 2018(3): 73-74.
- [7] 蒋爱华. 智慧城市地理信息数据体系研究[J]. 地理空间信息, 2016, 14(3): 15-17.
- [8] 毕超豪, 等. 激光点云线路三维可视化管理及关键技术研究[J]. 长江信息通信, 2021, 34(10): 98-100.
- [9] 李鹏, 马建芳. 融合点云及倾斜摄影三维单体化建模技术研究[J]. 测绘通报, 2021(S1): 29-32.
- [10] 李璐. 实景三维模型的建设技术与应用研究[J]. 大众标准化, 2024(1): 143-145.