引文格式：周新求,崔言辉,程学宁,等. 实景三维多源异构数据管理关键技术及应用[J]. 地理空间信息, 2025, 23(12):128-132. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.12.029

实景三维多源异构数据管理关键技术及应用

周新求[1]，崔言辉[2*]，程学宁[2]，张　华[2]
（1. 南昌市自然资源和规划事务服务中心，江西 南昌 330038；2. 浪潮软件科技有限公司，山东 济南 250101）

摘　要：实景三维是构建国土空间数字化建设的重要数字底座，高效的时空数据管理是实景三维建设的核心内容之一，但是在实际应用中面临着多源异构数据管理效率低等挑战。探索了数据分布式管理、全生命周期管理、混合服务编排、知识图谱等方面的关键技术，构造了多源异构数据管理模型，并按照“分布式存储，逻辑集中”的数据资源管理原则，设计了浪潮实景三维数据管理平台（I3D_MP），包含硬件设备、基础服务、数据管理、数据共享和场景应用5个架构层次，提供以云原生数据库为基础的多源异构数据管理服务。通过对南昌国土资源云平台时空数据库及管理系统建设的场景应用，对模型的定制化服务进行了解析，平台运营结果显示数据管理效率较传统管理方式平均提升了52%。

关键词：实景三维；多源异构数据；分布式管理；全生命周期管理；混合服务编排；知识图谱
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）12-0128-05

Key Technologies and Applications of 3D Real Scene Multi-source Heterogeneous Data Management

ZHOU Xinqiu[1], CUI Yanhui[2], CHENG Xuening[2], ZHANG Hua[2]
(1. Nanchang Natural Resources and Planning Service Center, Nanchang 330038, China;
2. Inspur Software Technology Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: 3D real scene is an important digital base for the digital construction of territorial space. Efficient spatio-temporal data management is one of the core contents of 3D real scene construction, but it faces the challenges of low efficiency of multi-source heterogeneous data management in practical application. We explored the key technologies of data distributed management, full life cycle management, hybrid service arrangement, knowledge atlas, etc., and constructed a multi-source heterogeneous data management model. Then, we designed Inspur 3D real scene data management platform (I3D_MP) in accordance with the data resource management principle of “distributed storage, logical center”, including five architectural levels of hardware equipment, basic services, data management, data sharing and scenario applications, and providing multi-source heterogeneous data management services based on cloud-native databases. Through the scenario application of construction of spatio-temporal database and management system of Nanchang land and resources cloud platform, we analyzed the customized service of the model. The operation results of the platform show that the efficiency of data management has increased 52% on average compared with the traditional management methods.

Key words: 3D real scene, multi-source heterogeneous data, distributed management, full life cycle management, hybrid service arrangement, knowledge graph

目前，实景三维在自然资源、国土空间、水利、生态、城市建设等行业取得了广泛的场景应用[1]，与此同时，随着遥感、三维激光扫描、全景影像等众多新型技术的快速发展和应用，海量的数据源丰富了实景三维的建设基础[2]，但也呈现了多源异构的特点。不同来源和类型的数据在空间分辨率、几何精度、纹理特征等方面存在差异[3]，如何有效地管理和利用这些数据成为一个亟待解决的问题。

针对该问题，当前研究多采用统一的实景三维数据描述和构建机制，并充分利用新技术，从数据模型的角度对多源异构数据进行多维、多空间的表达[4-10]。

在此研究基础上，探索了数据分布式管理、全生命周期管理、混合服务编排、知识图谱等方面的关键技术，解决了实景三维建设中的数据管理效率低、管理复杂和服务局限性高等难点[11]。以关键技术为核心，构建了多源异构数据管理模型，支撑数据共享与行业场景应用，设计形成实景三维数据管理平台专题产品。通过在南昌国土资源云平台时空数据库及管理

项目来源：智慧南昌时空信息云平台资助项目（2019B000221787）。
第一作者简介：周新求（1978—），硕士，高级工程师，主要从事自然资源和规划信息化管理与应用工作，E-mail：64285324@qq.com。
通信作者：崔言辉（1986—），博士，工程师，主要从事地理信息系统、遥感、生态环境评价等工作，E-mail：cyhchina@163.com。

系统场景中的应用，拓展了产品的使用场景，并检验了产品对时空数据的管理效率。该产品针对的数据类型多样，具有多模态数据处理能力强、查询检索速度快、应用场景广泛的优点，对于提高实景三维时空数据管理能力，有较强的研究和应用价值。

1　I3D_MP产品设计

浪潮实景三维数据管理平台（Inspur 3D real scene data management platform，I3D_MP）是针对实景三维多源异构数据的处理、共享和应用等管理过程而设计的专题业务产品。产品按照《新型基础测绘和实景三维中国建设标准体系》中的标准规范开展数据汇总与处理、建库与服务，充分考虑存量数据和增量数据的管理，提供以云原生数据库为基础的多源异构数据管理服务。

产品技术框架以“分布式存储，逻辑集中”的数据资源管理原则进行设计，如图1所示。



图1　I3D_MP产品技术框架

2　关键技术

多源异构数据管理模型是I3D_MP产品的核心内容，主要任务是支持多源异构数据的统一整合、转换、存储、管理、服务、共享、可视化等功能的实现，提升数据管理效率，丰富数据服务的多样性。通过对多源异构数据的分布式一体化管理、数据全生命周期管理、多模态混合服务编排、地理实体知识图谱等关键技术的运用，设计了数据管理、地理实体、物联融合、数据产品、三维立体一张图、服务资源、场景支撑、运维管理等功能模块。模型实现了多来源、多模态、多时序的实景三维数据管理，支持矢量数据、栅格影像数据、三维模型数据、结构数据、文档数据、属性数据、点数据等多种数据类型的一体化管理。通过空间算子与标识信息，构建数据血缘关系，实现了数据资产的融合贯通。结合数据特点，实现了对地理场景数据的按区域更新，对基础地理实体数据依据地理实体编码的增量更新，以及对数据资产高效率管理与运营，筑牢数据基座，支撑多场景应用。模型设计思路如图2所示。

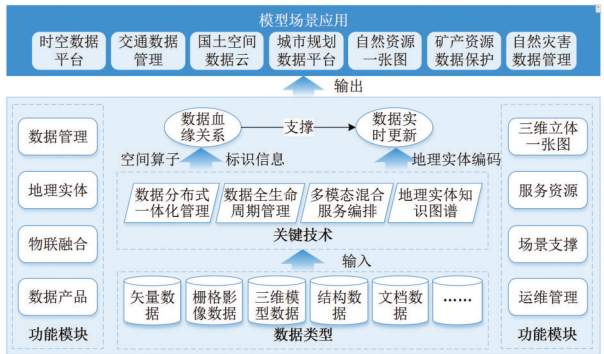


图2　I3D_MP多源异构数据管理模型设计思路图

该模型基于统一的时空基准、数据库模型、系统架构和服务接口，搭建了分级分节点模式的分布存储、逻辑集中、互联互通、动态更新的实景三维数据库，以及基础地理实体空间身份编码注册与解析服务和应用服务系统。

2.1　基于云原生数据库的多源异构空间数据分布式一体化管理技术

结合云原生数据库弹性伸缩能力、无服务器特性、架构高可用、低成本的优势[12]与多源异构空间数据对复杂、异构数据的管理需求，构建基于云原生数据库的多源异构空间数据分布式一体化管理技术。该技术实现空间数据的高效、统一和分布式管理，主要解决了海量数据分布式管理中的数据集成、数据匹配与数据质量控制等方面的问题。在自然资源行业数据管理业务领域，该技术对平台的贡献主要体现在提高数据管理效率，降低管理成本。该技术在智慧南昌时空信息云平台开发及支撑环境建设应用中，根据用户实际运维结果分析，地理信息数据管理、共享等服务的运营成本平均降低了38%。

在数据集成方面，主要采用了统一的数据模型和数据标准，将卫星遥感、无人机航拍、地面测量等多种渠道的不同来源、不同格式的空间数据进行集成。通过设计统一的数据模型，包括空间数据模型、属性数据模型等，建立元数据管理系统，对数据的来源、格式、质量、空间参考等信息进行统一管理和维护。采用数据融合、数据关联、数据映射等数据集成策略，将多源异构数据整合为统一的数据集。针对不同的数据类型，采用格式转换、投影转换、尺度转换等转换技术，将不同格式和坐标系统的数据转换为统一

的数据格式和坐标系统。

在数据匹配方面，主要采用了高效的匹配算法和关联技术，用于提取数据的空间位置信息（经纬度、高程等）、数据的空间关系信息（距离、方向、拓扑关系等）、数据的属性信息（名称、类型、分类等），并对属性信息进行编码和标准化处理。根据业务需求和数据特点，选择对匹配结果有重要影响的特征，降低数据的维度和复杂性，提高匹配的效率和准确性，实现多源异构空间数据之间的精确匹配和关联。数据匹配的方法主要采用基于规则的匹配，根据属性信息（名称、类型）等预设的规则和条件进行数据匹配；基于机器学习的匹配，利用决策树、支持向量机、神经网络等机器学习算法，对数据进行分类和匹配，并通过训练模型，提高匹配的准确性和效率。

在数据质量控制方面，主要采用了基于统计方法和空间数据挖掘的数据质量控制方法，对不同类型和应用场景的数据进行质量控制，主要采用数据校检和元数据管理方法。在数据校检中，分别对数据进行了完整性校验、逻辑一致性校验和精度校验，确保数据的准确性和可靠性。元数据管理主要是通过元数据的采集、分析和全生命周期管理，追踪数据的处理过程和质量变化，从而更加有效地控制数据的质量。

2.2 基于动态本体的多源异构空间数据全生命周期管理技术

动态本体技术可以根据需求对本体添加对象、属性和关系等信息来辅助本体的构建，形成目标知识资源，可应对快速变化的数据环境和业务需求[13]。I3D_MP多源异构数据管理模型利用动态本体的本体构建和语义调整技术，解决了要素动态提取和空间分析等问题。该技术为数据处理提供了语义基础，使得计算机能够更好地理解数据的含义和关系，实现对多源异构空间数据高度集成的全生命周期有效管理。同时结合数据抽取、数据映射、数据聚合、数据过滤、数据转换等数据处理方法，对矢量空间、栅格影像、三维模型、结构数据和文档属性数据等多源异构数据进行处理。该过程贯穿于数据的产生、收集、存储、处理、分析、共享、可视化到销毁的全生命周期，实现数据全生命周期的元数据管理、时空编码索引、数据对象组织、模型优化等功能，其技术架构如图3所示。该技术具有集成度高、动态调整、智能分析、可视化展示等优点，可在智慧城市、环境保护、自然资源管理、灾害监测等领域进行多场景应用。

在自然资源管理中已构建了基于动态本体的历史和现状的测绘数据、自然资源监测数据、POI及地名地址数据、三维模型数据、公共专题数据、智能感知数据等多源数据的全生命周期管理，并应用于智慧南昌时空信息云平台开发及支撑环境建设。根据平台实际运维统计结果显示，对自然资源行业的数据管理服务覆盖率大于95%，满足了自然资源数据管理的业务需求。

基于动态本体的数据管理模型是支持数据全生命周期管理的核心方法，主要包含处理方法和动态本体2个部分。

数据处理方法中的数据抽取可以从各种数据源中提取出所需的空间数据；数据映射可以将来自不同数据源的数据映射到同一个空间参考框架中；数据聚合可以将来自多个数据源的数据合并成一个数据集；数据过滤可以去除重复数据和不相关的数据；数据转换可以对数据进行格式化和标准化处理，以便于后续的分析和使用。这些方法可以根据具体的应用场景和需求进行选择和组合，以达到最佳的数据集成效果。

动态本体构建可以根据空间数据的特性和业务需求，定义包含概念、属性、关系等元素的动态本体模型；语义调整支持根据数据变化和业务需求，动态调整本体模型的结构和属性，确保模型的有效性和灵活性。

此外，该技术支持记录数据的全生命周期过程，包括数据从产生到销毁的所有环节，便于数据跟踪和审计。同时，建立数据质量监控体系，对数据的质量进行持续监控和评估，确保数据的准确性和可靠性。在周期运维中，根据数据的变化和应用需求，对数据进行及时的更新和维护，确保数据的时效性。

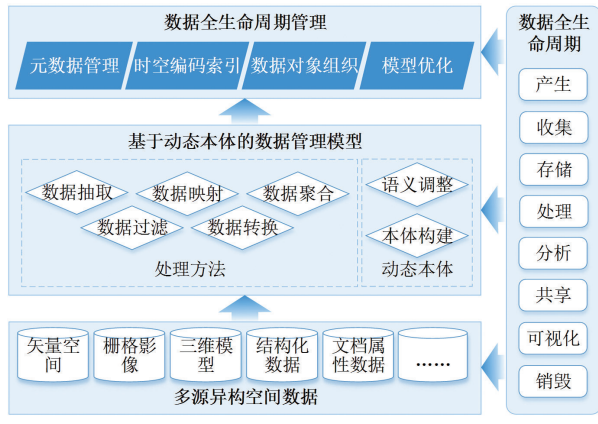


图3 多源异构空间数据全生命周期管理技术架构

2.3 基于元数据驱动的多模态混合服务编排技术

I3D_MP多源异构数据管理模型整合了矢量数据、栅格数据、三维模型数据、文档数据等多模态数据，组合元数据建模管理、多模态混合服务编排、多样化服务适配等功能，构建了基于元数据驱动的多模态混合服务编排技术（技术架构如图4所示）。该技术

实现了地理实体关联、地理实体组装、地理场景组装等混合数据模态下服务编排、服务组装功能，解决了多模态数据服务管控的问题。该技术在智慧南昌时空信息云平台开发及支撑环境建设应用中，通过建立自然资源元数据模型，地理实体的关联和组装、服务适配能力都有提升，其中数据编排时间平均减少了33%，响应速度平均提高了21%。

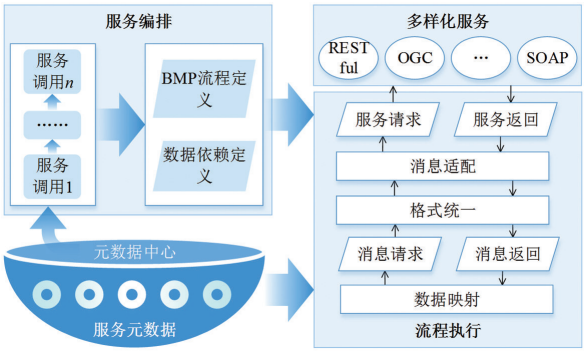


图4　多模态混合服务编排技术架构

元数据建模是针对数据的多样化服务，描述服务消息结构，主要内容包括服务的输入项、输出项、服务地址、协议、消息格式等关键信息[14]。首先从输入/输出的统一概念上描述服务，具体的输入项和输出项对应于应用层协议中的字段。服务的适配信息包含服务发布所采用的底层协议信息以及应用层的消息结构信息。服务的编排信息描述服务的基本输入项和输出项，输入/输出项为应用层上的输入/输出。对于一个OGC服务标准下的WPS服务，服务的功能为对2个矢量数据进行拼接，从WADL文档上看，服务仅接受一个参数通过POST方式传递，而从应用层上看，该参数内部又包含3个数据，分别为2个矢量数据和一个坐标参考系，则该服务的服务元数据中包含3个输入项分别与3个数据一一对应。元数据中的适配信息则描述生成和解析服务消息时所需要的信息。对于一个RESTful服务，扩展信息包括服务下每个方法的请求类型、每个参数的传递方式。对于SOAP服务，则包括SOAP消息体的命名空间。

混合服务编排指定服务的调度顺序和数据传递关系，考虑服务的执行顺序、数据依赖关系、异常处理等要素，生成业务流程模型、符号的流程定义和数据依赖关系定义。服务编排需提供流程编排界面和流程状态的管理界面，方便用户在编排界面中通过图形化的操作进行服务编排，在流程管理界面中可以执行、挂起或终止已经部署的流程。多样化服务支持统一的流程执行过程，建立数据映射关系，消息进行统一格式处理和适配，提供可支持RESTful、OGC、SOAP等多样化的服务。

2.4　基于图数据库的地理实体知识图谱技术

基于图数据库，通过整合空间、非空间、结构化和非结构化数据，分析地理实体之间的关系（如地理位置、相邻关系、包含关系等），提高数据查询与决策制定速度和准确度[15]。用户可通过地图、链接图表、统计图和实体卡片等多种视角将知识图谱中的信息可视化，来解决空间和非空间等问题，实现数据存储、查询、索引和扩展的功能。

该技术基于图数据库存储地理知识图谱的图数据信息，主要使用Neo4j分布式图数据库进行的平台研发，但同时也可支持扩展NebulaGraph、OrientDB、JanusGraph等任意属性图模型的图数据库，主要解决了时空语义融合衔接的问题。其在智慧南昌时空信息云平台开发及支撑环境建设应用中，针对地理信息数据的模糊查询实验，准确率大于80%。

基于图数据库的地理实体知识图谱技术的构建方法主要采用了2种方式：自顶向下和自底向上，如图5所示。

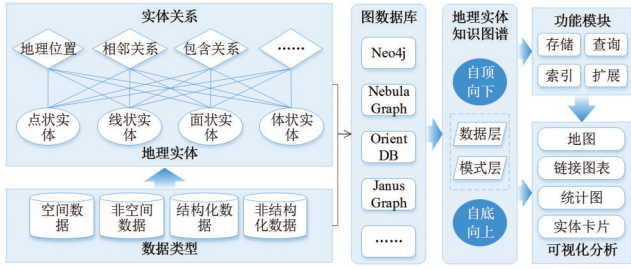


图5　基于图数据库的地理实体知识图谱技术架构

3　模型应用

南昌时空数据信息化建设推动“数字南昌”发展到“智慧南昌”，促进了南昌时空信息数据处理、融合、管理与服务等方面智能化水平的提高。基础地理信息数据由静态数据上升为具有时间标识的地理信息数据，不仅增加了不同版本的历史地理信息数据，还扩展了精细的物联网智能感知设备位置数据及其流式数据、远景规划地理信息，同时融合了人口信息、宏观经济及其他行业专题数据，实现了从基础地理信息数据到时空信息数据的升级。

基于I3D_MP平台，在智慧南昌时空信息云平台开发及支撑环境建设项目中，构建了南昌国土资源云平台时空数据库及管理系统。其数据库包含控制点数据、历史和现状的测绘数据、自然资源监测数据、POI及地名地址数据、三维模型数据、实景数据、空间规划数据、公共专题数据、智能感知数据等9大类、82中类、1 000余小类的时空大数据资源。基于

该多源异构数据库，构建智慧城市建设所需的地上地下、虚实一体化的时空数据资源管理系统，提供数据管理、查询、共享、可视化等多样化服务。

在统一的四维时空基准上，形成由汇聚、处理和管理构成的时空信息大数据，统一了各类结构化和非结构化数据的汇聚、存储、处理、融合和服务化，实现了时空信息资源的有效整合，支撑共享应用。通过时空数据库的功能仓库和集成管理等方面的提升，实现了包括二维、三维、元数据等信息的各类数据存储。平台运维结果显示，数据存储管理效率较传统模式平均提高了52%，为智慧城市提供了直观的展现平台，为物联化、互联化、智能化提供了基础和决策支持。

4 结 语

I3D_MP在政府部门、企事业单位有广阔的应用空间，支持其多维时空数据管理维护、服务发布、数据产品制作、三维场景应用定制、物联数据接入与融合等工作。该产品有助于建立三维立体一张图和实景三维空间底座，实现对城市、企业、政府部门等服务对象的数据数字化管理与运营，提升数字化管理水平和工作效率。通过平台数据与应用支撑能力，可广泛应用于自然资源立体化管理、城市精细治理与服务、城市规划设计方式的变革、自然灾害预警防治、智慧园区建设等业务场景，助力各业务数治化治理、立体化监管、精细化管理。

参考文献

[1] 张帆,黄先锋,高云龙,等. 实景三维中国建设技术大纲(2021版)解读与思考[J]. 测绘地理信息,2021,46(6):171-174

[2] 欧阳欢,董杨,李建康,等. 大区域多层级实景三维快速建模策略研究[J]. 测绘工程,2024,33(4):54-59

[3] 周俊晖,赵聪浩,冯振俭,等. 多源异构数据集成的实景三维数据模型[J]. 北京测绘,2022,36(5):563-570

[4] 卢丹丹,彭清山,孙雅庚,等.基于实景三维模型的多源数据集成技术研究[J]. 地理空间信息,2020,18(3):9-11

[5] 甘斌,方登茂,金鑫,等. 基础地理实体数据库应用管理系统设计与实现[J]. 城市勘测,2024(2): 17-22

[6] 李姗迟,蒋腾,戴雪峰,等. Web端实景三维注记可视化技术研究[J]. 地理空间信息,2023,21(5):84-87

[7] 高毓琳. 实景三维时空数据库建设及应用:以南沙先行启动区为例[J]. 城市建设理论研究(电子版),2023,12(35):220-222

[8] 杨雁清. 面向社交网络用户数据的分布式存储系统设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2022

[9] 鲍文月,朱学明,徐良. 多源异构城市三维模型数据组织管理方法[J]. 现代测绘,2021,44(6):34-36

[10] 王斌,李朋龙,罗鼎,等. 重庆市实景三维地理信息服务平台建设及应用[J]. 地理空间信息,2017,15(10):21-23

[11] 刘先林. 中国实景三维建设的困境与建议[J]. 发展研究,2023,40(9):1-8

[12] 董昊文,张超,李国良,等. 云原生数据库综述[J]. 软件学报, 2024,35(2):899-926

[13] 王娜,蒋智慧. 动态本体构建的国内外研究现状综述[J]. 现代情报,2020,40(4):159-166

[14] 张光宇,应时,贾向阳,等. 元数据驱动的多样化服务的混合编排方法[J]. 计算机应用研究,2018,35(3):777-781

[15] 蒋秉川,万刚,许剑,等. 多源异构数据的大规模地理知识图谱构建[J]. 测绘学报,2018,47(8):1 051-1 061

（上接第98页）

[5] 武子谦,唐成盼,张京奎,等. 基于WUM精密钟差产品的BDS-3星载原子钟性能评估[J]. 无线电工程,2023,53(5): 1 032-1 040

[6] Pascale D, Quentin B. Precision and Accuracy of GNSS Time Transfer[J]. Proceedings of the IEEE, 2019, 99(13): 491-503

[7] Judah L. Performance Evaluation of Atomic Clocks in Timekeeping Systems[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2020, 68(10): 325-336

[8] JGérard P, Pascale D. Algorithms for the Generation of Time Scales[J]. Metrologia,2021,52(11):147-159

[9] 黄志勇,李姗姗,李世忠,等. GRACE-FO卫星星间指向定标与性能评估[J]. 大地测量与地球动力学,2023,43(9): 881-886

[10] 季锐,刘长建,王敏,等. Galileo高精度定位服务初始服务性能评估[J]. 大地测量与地球动力学,2024,44(1):21-26

[11] 周锋,杨宇泽,王磊,等. GNSS载波相位整数等变估计及其PPP性能提升算法[J]. 测绘学报,2022,51(8):1 779-1 786

[12] 伍贻威. 基于钟差预测的铯原子钟频率异常检测算法及性能分析[J]. 测绘学报,2021,50(1):52-60

[13] 刘晗,魏辉,邹贤才. GRACE Follow-On卫星的星载GNSS相位测速法[J]. 测绘学报,2021,50(12):1 772-1 779

[14] 伍贻威,王世超. 不通过自由纸面时建立时间基准的方法与性能分析[J]. 测绘学报,2021,50(3):343-355

[15] 孙文俊. 基于GPS/BDS联合定位技术的移动目标动态跟踪方法[J]. 地理空间信息,2024,22(11):62-65

[16] 程彤,王潜心,胡超,等. BDS-2和BDS-3卫星原子钟特性分析[J]. 测绘科学,2020,45(12):69-76

[17] 张家同,崔先强,朱永兴,等. 速度对低成本GNSS接收机互操作信号的性能影响[J]. 大地测量与地球动力学,2024,44(6):577-583