数字政府时空数据中台设计与实践

王昀[1,2]，杜志双[2]，田康[2]，苏小保[2]，常鹏飞[2]，梅迪菲[2]，李津宇[2]，姬龙建[2]，郭毅峰[2]，周武爱[2]，张皖哲[2]，冯建华[1]
1. 清华大学计算机科学与技术系，北京 100084；
2. 中移信息系统集成有限公司，北京 100032

摘要
自然资源和地理信息大数据是数字政府中重要的生产要素，是全国一体化政务大数据体系的重要组成部分。由于各部门存在数据分散和应用孤岛的问题，跨部门、跨业务的数据共享与应用存在一定困难，整体数据利用率低下。针对上述问题，围绕自然资源和地理信息大数据资源服务的需求，设计了数字政府时空数据中台，并对存储计算、数据体系和应用支撑等关键部分进行了详细说明。通过自然资源和地理信息库与人口综合库和法人综合库的整合，数字政府时空数据中台实现了人、企、地三者的有机融合，并结合具体的应用实践进行说明。

关键词
数字政府；自然资源和地理信息大数据；时空数据中台；人口综合库；法人综合库

中图分类号：TP311　　文献标志码：A　　doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.2024054

Design and practice of spatial and temporal data center on digital government

WANG Yun[1,2], DU Zhishuang[2], TIAN Kang[2], SU Xiaobao[2], CHANG Pengfei[2], MEI Difei[2], LI Jinyu[2], JI Longjian[2], GUO Yifeng[2], ZHOU Wuai[2], ZHANG Wanzhe[2], FENG Jianhua[1]
1. Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China
2. China Mobile Information System Integration Co., Ltd., Beijing 100032, China

Abstract
Natural resources and geographic information big data are regarded as essential productive factors in the context of digital government, and an important component of the national integrated government big data system. Due to data dispersion and isolated application program existing in the various departments, it is difficult to realize data sharing and application across departments and businesses, leading to the low utilization rate of data. In response to the issues mentioned above, the digital government spatio-temporal data center was designed with the demands for natural resource and geographic information big data services. The critical components, including storage computation, data structure and application support were introduced clearly. By integrating the natural resources and geographic information database with the population comprehensive database and legal person comprehensive database, an organic composition of people,

enterprises and geographic locations was established, which was explained by the specific application practices.

Key words
digital government, natural resources and geographic information big data, spatio-temporal data center, population comprehensive database, legal person comprehensive database

0 引言

自然资源和地理信息是城市信息化建设中基础、关键、不可或缺的信息资源，与政务服务、城市运行管理息息相关，是国家大数据战略中的重要组成部分。2021年，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》指出，深化国家人口、法人、空间地理等基础信息资源共享利用。2022年，《关于加强数字政府建设的指导意见》指出，推进地理信息协同共享，提升公共服务能力，更好发挥地理信息的基础性支撑作用。2023年，《数字中国建设整体布局规划》强调，以数字化驱动生产生活和治理方式变革，为中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴注入强大动力。

为了发挥地理空间大数据的作用，提高城市管理决策水平，各级政府部门建立了不同的地理信息应用系统，导致自然资源和地理信息数据存在管理分散、应用孤岛、与其他政务数据联系不够紧密等问题[1-2]。针对上述问题，本文基于时空数据中台[3]，通过数据资源的共享交换解决资源碎片分散问题[4]，并以数字孪生城市为目标，对城市治理中的主体、客体和内容进行全域采集、汇聚与融合，构建了统一标准的数据资源，将全量数字化资源加载到地理信息系统（geographic information system，GIS）中，建立地理信息底板，全面提升自然资源和地理信息的管理能力和治理水平，优化营商环境，助力经济发展。

1 数字政府时空数据中台整体架构

本文从时空数据的业务需求出发，以云计算、大数据、物联网、人工智能等信息技术为支撑，以上下联动综合集成、闭环管理的工作机制为保障，遵循数字化、网络化、智能化思路，构建了如**图1**所示的数字政府时空数据中台整体架构，包括基础设施、时空数据中台、业务应用和标准规范体系。该架构解决了系统孤岛和数据孤岛的问题，加速了政务数据的融合、共享和利用，发挥了数据作为关键生产要素的放大、叠加、倍增效应，推进了“一网通办”“一网统管”“一网协同”的建设。

- 基础设施：构建标准统一、管理统一、安全可控、高效集约的政务云、政务网和云网安全基础设施平台，提供安全稳定的存储、计算和网络服务，对网络流量进行监控和防御，保护信息和网络安全，为数字化转型提供有力保障。

- 时空数据中台：由存储计算、数据体系、应用支撑、政务数据资源共享交换平台和公共数据资源开放平台共同组成。政务数据资源共享交换平台负责拓展采集渠道，延伸感知触角，汇聚城市各领域的人口、法人和地理信息等相关数据资源。数据体系建设需要对数据进行清洗、处理、转换、融合和建模，构建统一标准的时空数据资源，为上层提供服务[5-7]。应用支撑包括GIS平台、数字孪生平台、城市大脑平台等，为各地区、各部门业务应用提供统一的支撑能力，最大限度地提升业务协同

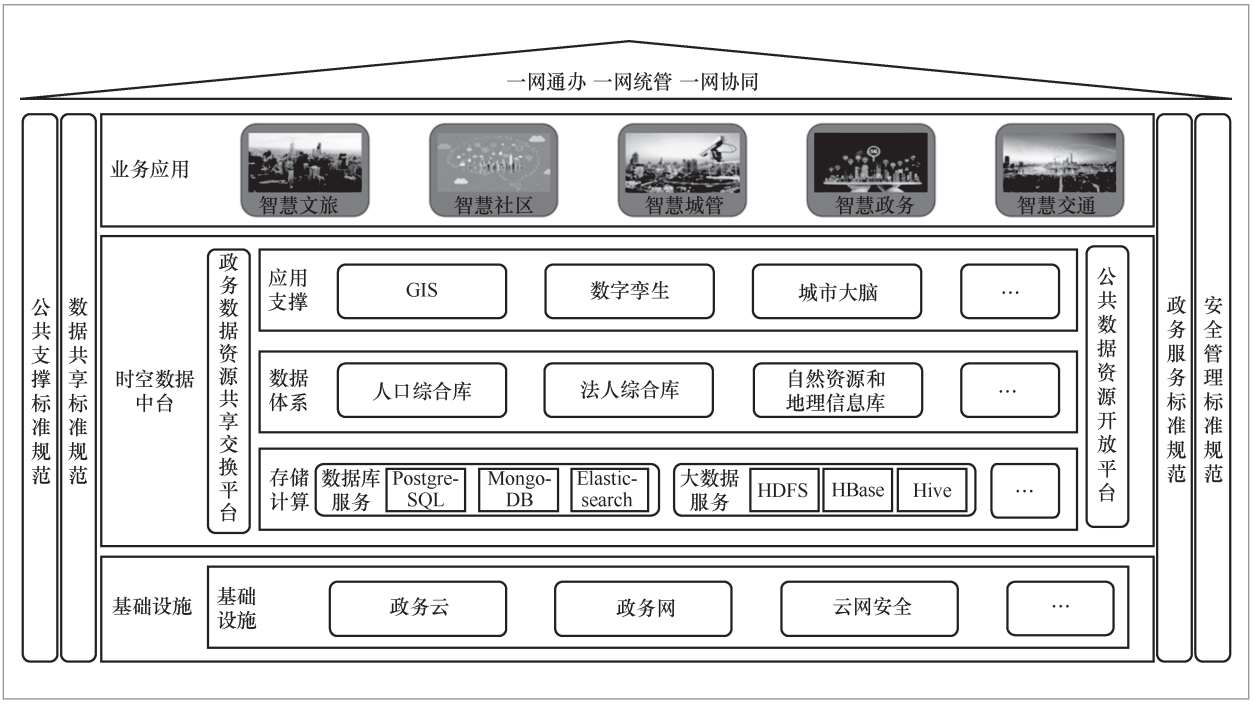


图1 数字政府时空数据中台整体架构

处理能力，支撑各地区、各部门流程再造，开展业务应用创新，做活数字政府建设生态。

- 业务应用：面向数字政府建设中的业务场景，时空数据中台提供人口综合库建设、法人综合库建设、自然资源和地理信息库建设、地理时空数据分析、数字孪生可视化、城市大脑场景构建等能力，为政务领域中的城市发展[8]、政务服务[9]、网络舆情[10]、社会信用[11]和智慧交通[12]等，民生领域中消费[13]、就业[14]、融资[15]和生活质量[16]等，经济领域中的电力指数[17]、制造业指数[18]、实体经济指数[19]和金融风险指数[20]等提供基于时空尺度的辅助决策和技术支撑。
- 标准规范体系：根据《国家电子政务标准体系建设指南》标准框架下的7个类别和现行81项国家标准，编制数据共享标准规范、公共支撑标准规范、政务服务标准规范和安全管理标准规范。

2 时空数据中台建设

时空数据中台以数字政府基础设施为支撑，开展数据中心的存储计算建设，形成人口、法人、地理信息的数据体系，打造GIS、数字孪生、城市大脑等应用支撑，以统一的标准和方式对外提供资源服务，为后续科学决策、精准管理和高效协同助力。

2.1 存储计算建设

时空数据中台依托政务云、政务网和云网安全等基础设施硬件和网络资源服务，构建存储计算中心，为时空数据中台提供所需的数据库服务和大数据服务。

构建PostgreSQL，利用其通用搜索树（generalized search tree，GIST）、空间分区通用搜索树（space partition GIST，

SP-GIST）、块范围索引（block range indexes，BRIN）等空间索引技术和K近邻（K-nearest neighbor，KNN）、R-Tree等查询优化技术，存储时空统计结果对象数据，实现基于空间索引的对象查询。

构建MongoDB，利用其内置的Spatial扩展能力，存储矢量瓦片、栅格瓦片及三维瓦片等文档数据，实现基于空间索引的文档查询。

构建Elasticsearch，利用其全文搜索引擎，存储人口、法人和地理信息的融合数据，实现海量数据的全文实时搜索。

构建HDFS、HBase[21]，利用其分布式横向扩展能力，存储未切片的地理信息数据，实现单图层亿级对象的高效存储。

构建Hive，利用其大数据分布式计算框架，存储计算人口画像和法人画像等数据，解决大数据的性能瓶颈。

2.2 数据体系建设

数据体系建设以政府信息资源的整合与开放共享为主线，统筹管理各类空间数据资源，按照“共建、共用、共享、互联”的原则，参照已有技术规范标准进行统一设计，构建自然资源和地理信息库，协同关联人口综合库[22]、法人综合库[23]等公共数据。数据体系横向覆盖城市的系列图层和全要素的自然资源“一张图”，通过时空数据中台实现“多规合一”，建成自然资源和地理信息统一公共的“数据底图”[24]；纵向以自然资源和地理信息大数据为基础，强化与人口、法人的多源、多模态数据的有效融合，实现高精度空间匹配和关联分析，满足各类应用需求[25]。数据体系的具体设计如图2所示。

数据体系建设通过连接各数据服务应用平台，汇聚人口、法人、空间地理等相关数据，深入开展数据治理，构建标准统一的数据资源池，强化数据支撑能力，推动数据应用创新发展，激发数据价值。建设流程包括数据调研、汇聚数据、数据治理、价值挖掘、共享开放。

数据调研，梳理台账。调研人口、法人、自然资源和地理信息相关数据，梳理相关数据要素覆盖范围、空间覆盖范围和时间覆盖范围，明确字段属性的精度、格式和代码集，初步掌握数据质量情况，确保原始数据能够满足现有和未来的业务需求。

汇聚数据，统筹分析。结合业务需求和发展情况，统筹分析平台的采集能力、存储能力和传输规划能力，制定数据接入管理计划，明确数据采集时间、采集频率和采集方式，推动数据有序汇聚。

数据治理，多维校核。参考国家标准、行业标准及数据库建库标准，从规范性、完整性、准确性、一致性、时效性和可访问性等多个维度进行校核[26]，制定数据治理规则，统一数据标准并构建标准层，对问题数据进行修正并做好容错，例如补充缺失值、修正数据格式和业务逻辑等。

价值挖掘，模型开发。首先，设计概念模型，确定模型边界；其次，设计逻辑模型，确定属性与实体关系；接着，设计物理模型，确定存储方式和索引设置，实现人员、法人和空间地理的关联与融合，构建相应的基础库、主题库和专题库；最后，通过空间数据挖掘模型对数据进行分析、处理、转化，运用图形化方式展示挖掘分析结果。

共享开放，创新发展。将模型数据和挖掘结果通过库表或接口的形式对外提供服务，借助政务数据资源共享交换平台和公共数据资源开放平台实现共享开放，促进数据资源的充分利用，推动数据应用的创新和发展。

2.3 应用支撑建设

GIS以数据体系为基础，实现了对城市

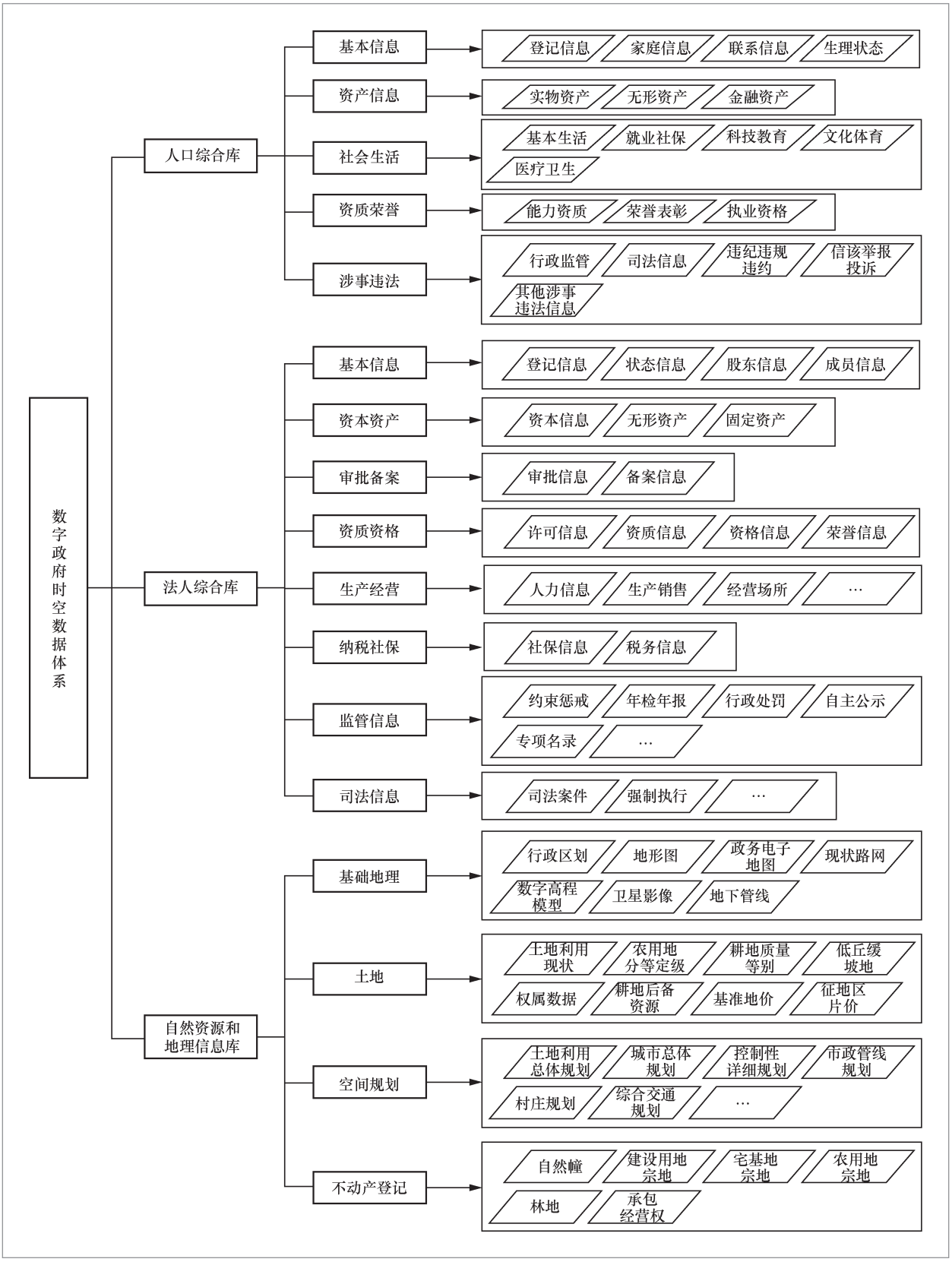

数字政府时空数据体系
人口综合库
基本信息
登记信息
家庭信息
联系信息
生理状态
资产信息
实物资产
无形资产
金融资产
社会生活
基本生活
就业社保
科技教育
文化体育
医疗卫生
资质荣誉
能力资质
荣誉表彰
执业资格
涉事违法
行政监管
司法信息
违纪违规违约
信该举报投诉
其他涉事违法信息
法人综合库
基本信息
登记信息
状态信息
股东信息
成员信息
资本资产
资本信息
无形资产
固定资产
审批备案
审批信息
备案信息
资质资格
许可信息
资质信息
资格信息
荣誉信息
生产经营
人力信息
生产销售
经营场所
…
纳税社保
社保信息
税务信息
监管信息
约束惩戒
年检年报
行政处罚
自主公示
专项名录
…
司法信息
司法案件
强制执行
…
自然资源和地理信息库
基础地理
行政区划
地形图
政务电子地图
现状路网
数字高程模型
卫星影像
地下管线
土地
土地利用现状
农用地分等定级
耕地质量等别
低丘缓坡地
权属数据
耕地后备资源
基准地价
征地区片价
空间规划
土地利用总体规划
城市总体规划
控制性详细规划
市政管线规划
村庄规划
综合交通规划
…
不动产登记
自然幢
建设用地宗地
宅基地宗地
农用地宗地
林地
承包经营权

图 2 数据体系设计

的全空间数字化表达。GIS结合时空数据融合治理引擎、时空数据共享发布引擎、时空数据空间分析引擎、时空数据瓦片生产引擎以及空间矢量数据在线符号化引擎，扩展Spark空间数据模型[27]，构建GIS分布式计算框架，实现空间数据分析算子（如**图3**所示），充分挖掘数据价值。GIS提供了一套开放式、多层次的地理时空数据服务，拓展了各领域数字应用的广度和深度。例如GIS对区域内的人员和企业分布情况的分析，为商城、交通、住宅、医院的选址提供规划建议等。

数字孪生平台可以虚拟表征现实世界中的实体、过程、关系和行为[28]，利用数据模型表示实体对象结构，借助三维仿真技术实现城市的精准表达和映射[29]，通过多源数据融合接口对城市运营进行感知和交互[30]，实现对城市各静态和动态要素的可视化，塑造智能化治理的城市协同城市信息模型（city information modeling，CIM）平台[31]，连通物理世界与数字世界。数字孪生平台根据城市管理、生态治理、交通治理、市场监管、应急管理、公共安全等历史数据进行模拟和预测，实现城市的实时可视化运营、物联控制和模拟预测，为城市运营管理者提供高效、易用的可视化操作界面。

城市大脑平台提供图形化编辑页面，包含海量图表组件、交互组件、地图模型、行业模板等资源，可供用户快速调用、完成项目配置。用户可通过简单拖曳、点选的方式，进行图层切换、资源选用、组件配置等操作，实现可视化项目的快速构建。城市大脑平台为省级、市级及委办厅局决策者提供场景分析服务，满足各级决策者在桌面办公场景下通览其关注的场景内容数据的需求，极大扩展了态势感知的使用范围和利用率。

3 关键技术

- 数据同步：基于Apache Flink的分布式离线和实时数据同步框架，实现多种异构数据源之间高效的数据迁移。不同的数据源被抽象为不同的Reader插件，不同的数据目标被抽象为不同的Writer插件[32]。Reader插件能够监听数据源的操作命令，并将这些操作命令解释为目标源的操作命令，最终由

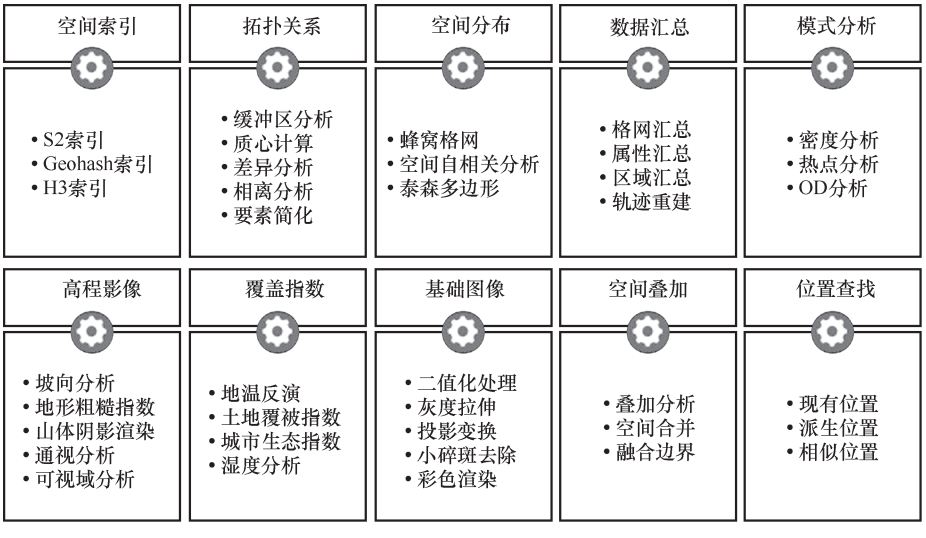


图 3 空间数据分析算子

Writer插件完成这些操作。理论上，该框架可以支持任意类型的数据源的数据同步工作，并且新加入的数据源可迅速完成与现有数据源的互通，实现数据源与目标源的灵活匹配，减少大量的重复编码工作。

- 时空分析：基于Apache Spark分析计算引擎，对不同数据库进行优化并扩展自定义数据库读取能力，将读取的数据转化为弹性分布式地理要素数据集Spatial RDD。时空分析通过数据缓存机制和任务拆分方法，避免数据的反复读取和落盘，减少了磁盘I/O操作，并通过并行计算提高了大数据的计算性能，保障了千万级以上的矢量叠加运算的高效运行[33]。
- 模型渲染：基于Unity3D或Unreal Engine等三维渲染引擎，创建数字化的城市模型。通过模拟现实世界中的光照、大气散射和气象等环境信息，呈现出不同材质的物体应有的金属感、粗糙感、自发光等效果，同时添加动态物理效果、粒子效果和声音效果，让这些渲染效果可以随着时间的推移而动态变化，使城市信息模拟更具真实感[34]。

4 应用实践

GIS、数字孪生和城市大脑作为基础资源，可以为不同应用场景提供应用支撑，通过地图模块代码的开箱即用，为各级应用提供统一地图能力，保证数出同源，充分发挥地图空间可视化能力。通过采取参数配置的方式，时空数据中台能够在地图上展示城市管理要素、数据资源内容、地图控件、地图基础操作工具和事件监听窗口等内容，降低应用场景的开发周期和技术风险，提高应用场景的快速构建能力。

以城市运行监测为例，如**图4**所示，时空数据中台对城市数字高程模型、遥感卫星影像、建筑轮廓数据、各级交通路网数据、城市兴趣点数据、河流水系数据、土地利用数据等进行加工处理，再融合CIM5级高精度城市信息模型数据，构建城市数字孪生底板。时空数据中台借助城市大脑，展示城市运行综合态势，构建城市运行体征指标体系；利用GIS连接真实世界和数字世

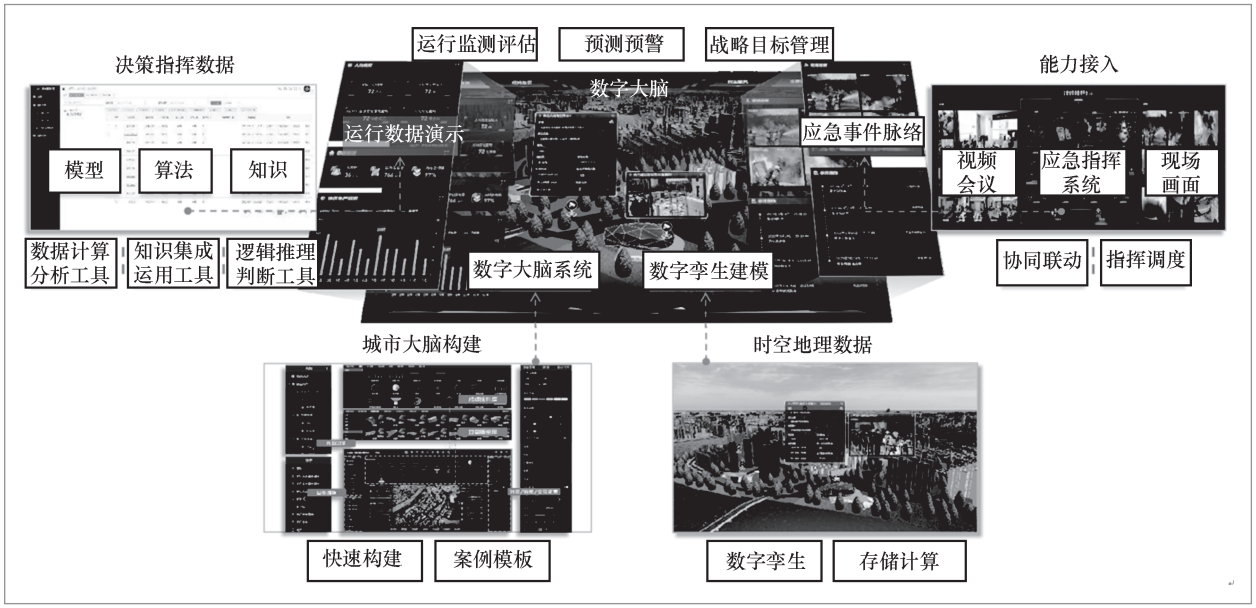


图 4 运行监测应用实践

界，展示城市人员分布热点、行为轨迹、产业链分布等；实时接入应急事件和决策指挥数据，实现事件告警、事件脉络、时间机器的可视化管理，满足省市县各级管理者多部门协同联动调度、应急处置的需求。

5 结束语

随着横向多领域数据的发展，当前自然资源和地理信息获得了新的驱动力，人口、法人数据的结合进一步强化了整体数据价值。本文围绕数字政府时空数据中台的设计，从宏观整体架构到微观关键技术对其进行说明，阐述了整体架构中各模块的关系、数据体系构建过程、治理流程步骤、关键技术和应用建设实践，具有较高的参考价值，为类似项目的实施提供了参考。

参考文献:

[1] 强海洋，杨丽丽. 国土资源规划指标体系构建研究[J]. 中国国土资源经济，2015，28(9)：17-21.
QIANG H Y，YANG L L. Research on the establishment of the index system of land and resource planning[J]. Natural Resource Economics of China，2015，28(9)：17-21.

[2] 云瑞. 呼和浩特市国土资源数据管理问题及对策研究[D]. 呼和浩特：内蒙古大学，2018.
YUN R. Research on problems and countermeasures of land and resources data management in Hohhot[D]. Hohhot：Inner Mongolia University，2018.

[3] 苏萌，贾喜顺，杜晓梦，等. 数据中台技术相关进展及发展趋势[J]. 数据与计算发展前沿，2019，1(5)：116-126.
SU M，JIA X S，DU X M，et al. Research on the recent development and future trends of data mid-end technology[J]. Frontiers of Data & Computing，2019，1(5)：116-126.

[4] 王伟玲. 加快实施数字政府战略：现实困境与破解路径[J]. 电子政务，2019(12)：86-94.
WANG W L. Accelerating the implementation of digital government strategy：realistic dilemmas and solutions[J]. E-Government，2019(12)：86-94.

[5] 谢文凯，王群才，李国洋. 智慧东莞时空信息云平台试点建设技术研究[J]. 测绘与空间地理信息，2020，43(11)：136-140.
XIE W K，WANG Q C，LI G Y. Research on pilot construction technology of smart Dongguan spatio-temporal information cloud platform[J]. Geomatics & Spatial Information Technology，2020，43(11)：136-140.

[6] 刘鹏. 大数据还是小数据? [J]. 软件和集成电路，2019(6)：48-50.
LIU P. Big data or small data? [J]. Software and Integrated Circuit，2019(6)：48-50.

[7] 李广乾. 什么是数据中台? [J]. 中国信息界，2019(6)：72-75.
LI G Q. What is a data center?[J]. Information China，2019(6)：72-75.

[8] 胡晓珂，张岩. 大数据视角下新城评价指标体系的构建[J]. 住宅产业，2016(9)：34-38.
HU X K，ZHANG Y. Construction of new town evaluation index system from the perspective of big data[J]. Housing Industry，2016(9)：34-38.

[9] 张宇杰，安小米，张国庆. 政府大数据治理的成熟度评测指标体系构建[J]. 情报资料工作，2018(1)：28-32.
ZHANG Y J，AN X M，ZHANG G Q. Construction of maturity evaluation index system for government big data governance[J]. Information and Documentation Services，2018(1)：28-32.

[10] 徐映梅，高一铭. 基于互联网大数据的CPI舆情指数构建与应用：以百度指数为例[J]. 数量经济技术经济研究，2017，34(1)：94-112.
XU Y M，GAO Y M. Construction of the

public opinion index of CPI based on the Internet big data[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2017, 34(1): 94–112.

[11] 毛通, 谢朝德. 基于百度大数据的信用舆情指数构建与实证研究[J]. 征信, 2020, 38(1): 11–20.
MAO T, XIE Z D. Construction and empirical study of public opinion index on credit based on the big-data of Baidu[J]. Credit Reference, 2020, 38(1): 11–20.

[12] 邹伟. 基于道路交通指数大数据的上海市主城区交通拥堵特征研究[J]. 上海城市规划, 2017(2): 76–81.
ZOU W. Analysis on traffic congestion of Shanghai central city based on road transportation index big data[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2017(2): 76–81.

[13] 郭洪伟. 基于网络大数据的消费者信心指数编制[J]. 统计与信息论坛, 2015, 30(6): 111–112.
GUO H W. Compilation of consumer confidence index based on network big data[J]. Journal of Statistics and Information, 2015, 30(6): 111–112.

[14] 耿林, 毛宇飞. 中国就业景气指数的构建、预测及就业形势判断: 基于网络招聘大数据的研究[J]. 中国人民大学学报, 2017, 31(6): 24–35.
GENG L, MAO Y F. Construction of China employment market prosperity index(CIER) and employment situation analysis based on CIER—research based on large data on network recruitment[J]. Journal of Renmin University of China, 2017, 31(6): 24–35.

[15] 张晓芳. 基于民间融资大数据的地区民间融资风险指数模型研究: 以温州为例[J]. 时代金融, 2017(6): 41–43, 47.
ZHANG X F. Research on risk index model of regional private financing based on big data of private financing—taking Wenzhou as an example[J]. Times Finance, 2017(6): 41–43, 47.

[16] 魏颖, 刘厉兵. 居民生活质量大数据指标体系的构建与运用[J]. 中国经贸导刊, 2019(16): 15–17.
WEI Y, LIU L B. Construction and application of big data index system for residents' quality of life[J]. China Economic & Trade Herald, 2019(16): 15–17.

[17] 王凯军, 龙厚印, 吴良良, 等. 基于电力大数据的产业结构调整及经济指标研究[J]. 经济研究导刊, 2017(25): 38–39.
WANG K J, LONG H Y, WU L L, et al. Research on industrial structure adjustment and economic indicators based on power big data[J]. Economic Research Guide, 2017(25): 38–39.

[18] 钱斌华. 基于大数据的长三角制造业指数建构与预测研究[J]. 现代管理科学, 2019(5): 41–43.
QIAN B H. Research on the construction and prediction of Yangtze River Delta manufacturing index based on big data[J]. Modern Management Science, 2019(5): 41–43.

[19] 高欣东, 马冬妍, 师丽娟. 大数据与实体经济深度融合指数构建及评估实证研究: 以贵州省的实践为例[J]. 经营与管理, 2019(12): 100–104.
GAO X D, MA D Y, SHI L J. Empirical study on the construction and evaluation of the deep integration index between big data and the real economy: a case study of Guizhou province[J]. Management and Administration, 2019(12): 100–104.

[20] 李崇纲, 许会泉. 冒烟指数: 大数据监测互联网金融风险[J]. 大数据, 2018, 4(4): 76–84.
LI C G, XU H Q. Smoke index: big data technologies monitor Internet financial risks[J]. Big Data Research, 2018, 4(4): 76–84.

[21] LIU Y, LI M, ALHAM N K, et al. HSim: a MapReduce simulator in enabling cloud computing[J]. Future Generation Computer Systems, 2013, 29(1): 300–308.

[22] 浙江省市场监督管理局. 人口综合库数据规范: DB33/T 2234–2019[S]. 2019.

Market Supervision Administration of Zhejiang Province. Population comprehensive database data specification: DB33/T 2234-2019[S]. 2019.

[23] 浙江省质量技术监督局. 法人库数据规范: DB33/T 2067-2017[S]. 2017.
Market Supervision Administration of Zhejiang Province. Legal entity database data specificaiton: DB33/T 2067-2017[S]. 2017.

[24] 吴勤书, 赵卓文, 张时智. 新时代测绘地理信息服务于自然资源管理的思考[J]. 测绘通报, 2019(S1): 168-170, 175.
WU Q S, ZHAO Z W, ZHANG S Z. Reflections on the service of surveying and mapping geographic information to natural resources management in the new era[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2019(S1): 168-170, 175.

[25] 唐华, 王梁文敬, 周海洋. 自然资源二三维一体化数据整合及管理应用模式研究[J]. 国土资源信息化, 2019(3): 35-40.
TANG H, WANG L W J, ZHOU H Y. Research on application mode of 2D and 3D data integration and management of natural resources[J]. Land and Resources Informatization, 2019(3): 35-40.

[26] 国家标准化管理委员会. 信息技术 数据质量评价指标: GB/T 36344-2018[S]. 2018.
Standardization Administration of China. Information technology-data quality evaluation iudicators: GB/T 36344-2018[S]. 2018.

[27] ISARD M, BUDIU M H, YU Y, et al. Dryad[J]. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 2007, 41(3): 59-72.

[28] 陶飞, 张贺, 戚庆林, 等. 数字孪生模型构建理论及应用[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(1): 1-15.
TAO F, ZHANG H, QI Q L, et al. Theory of digital twin modeling and its application[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2021, 27(1): 1-15.

[29] 冷柏寒, 夏唐斌, 孙贺, 等. 面向可重构制造的数字孪生映射建模与监控仿真[J]. 浙江大学学报(工学版), 2022, 56(5): 843-855.
LENG B H, XIA T B, SUN H, et al. Digital twin mapping modeling and method of monitoring and simulation for reconfigurable manufacturing system[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2022, 56(5): 843-855.

[30] 康孟珍, 邱文忠, 陈自富, 等. 平行圆明园: 从数字孪生园林到元宇宙智慧遗址公园[J]. 智能科学与技术学报, 2022, 4(3): 301-307.
KANG M Z, QIU W Z, CHEN Z F, et al. Parallel Yuan-Ming Yuan Imperial Garden: from digital twin garden to metaverse smart heritage park[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2022, 4(3): 301-307.

[31] 田颖, 杨滔, 党安荣. 城市信息模型的支撑技术体系解析[J]. 地理与地理信息科学, 2022, 38(3): 50-57.
TIAN Y, YANG T, DANG A R. Analysis on supporting technology system for city information model[J]. Geography and Geo-Information Science, 2022, 38(3): 50-57.

[32] ALEXANDROV A, BERGMANN R, EWEN S, et al. The stratosphere platform for big data analytics[J]. The VLDB Journal, 2014, 23(6): 939-964.

[33] 翟永, 刘津. 建设地理信息大数据的思考[J]. 气象科技进展, 2015, 5(1): 70-71.
ZHAI Y, LIU J. Thoughts on building geographic information big data[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2015, 5(1): 70-71.

[34] 李治国, 郭立. 基于OpenGL的光照处理技术及实现[J]. 计算机仿真, 2008, 25(3): 221-223.
LI Z G, GUO L. Implementation of lighting technique based on OpenGL[J]. Computer Simulation, 2008, 25(3): 221-223.

作者简介



王昀（1979– ），男，中移系统集成有限公司副总经理、高级工程师，主要研究方向为数字政府。



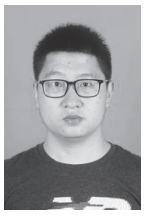
杜志双（1994– ），男，中移系统集成有限公司智慧城市平台部高级工程师，主要研究方向为智慧城市、政务数据治理。



田康（1978– ），男，中移系统集成有限公司智慧城市平台部副总经理、高级工程师，主要研究方向为智慧城市、数字政府。



苏小保（1985– ），男，中移系统集成有限公司智慧城市平台部总监，主要研究方向为数据平台、数据治理和数据应用。



常鹏飞（1986– ），男，中移系统集成有限公司智慧城市平台部TL，主要研究方向为大数据、数据挖掘、数据治理。



梅迪菲（1981– ），男，中移系统集成有限公司规划技术部、智慧城市平台部副总经理、高级工程师，主要研究方向为智慧城市、数字政府。



李津宇（1996– ），男，博士，就职于中移系统集成有限公司规划技术部，主要研究方向为数字政府、政务数据治理。



姬龙建（1988– ），男，中移系统集成有限公司智慧城市平台部数字孪生团队产品经理，主要研究方向为GIS平台架构与研发、数字孪生平台研发与交付。



郭毅峰（1978– ），男，博士，中移系统集成有限公司数字政府事业部副总经理、高级工程师、高级专家（二级），主要研究方向为数字政府、政务数据治理。



周武爱（1993– ），男，博士，就职于中移系统集成有限公司规划技术部，主要研究方向为政务数据治理、人工智能、自然语言处理。



张皖哲（1995– ），男，博士，就职于中移系统集成有限公司规划技术部，主要研究方向为政务数据治理。



冯建华（1967– ），男，博士，清华大学计算机科学与技术系副主任、教授，主要研究方向为数据库管理系统、数据安全与隐私保护、信息检索。

收稿日期： 2023–07–10

通信作者： 王昀，wangyun@cmict.chinamobile.com

基金项目： 中移信息系统集成有限公司自立项目海算平台项目（第1期）（No.R2310AJE）

Foundation Item: China Mobile Information System Integration Co., Ltd.'s Independent Project–Haisuan Platform Project(Phase 1) (No.R2310AJE)