引文格式：韩志刚,王家耀,刘春,等. 面向智慧城市协同服务的时空大数据平台关键技术研究[J]. 地理空间信息, 2026, 24(6):17-23. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2026.06.003

面向智慧城市协同服务的时空大数据平台关键技术研究

韩志刚[1,2,3,4]，王家耀[1,2,3,4*]，刘　春[1,2,3,4]，马静茹[1,2]，许　涛[1,4,5]，王利军[1,2,3,4]，
宋宏权[1,2,4]，张喜旺[1,2,4]

（1. 空间基准全国重点实验室，河南 郑州 450046；2. 河南大学地理科学与工程学部 遥感与空间信息工程学院，河南 郑州 450046；
3. 河南省时空大数据产业技术研究院，河南 郑州 450046；4. 黄河实验室（河南），河南 郑州 450046；
5. 河南大学计算机与信息工程学院，河南 开封 475004）

摘　要：聚焦于智慧城市建设需求，结合时空大数据领域进展，在界定时空大数据平台内涵基础上，分析了时空大数据平台的服务模式，并提出了“网格集成+弹性云”相结合的时空大数据平台技术体制及其建设的六大技术体系。针对智慧城市协同服务难题，提出了虚拟组织技术与“共用时空大数据平台+”的应用服务模型，实现多源异构时空大数据高效汇聚与服务共享以及跨层级、跨地域、跨系统、跨部门、跨业务的协同服务。在此基础上，研发了自主知识产权的星曜时空大数据平台，并建设了智慧济源时空大数据平台，服务于自然资源与生态环境保护、智慧交通优化、灾害应急联动与城市设施管理等应用，实现了从全域感知、数据治理、服务组织到智能决策的完整技术链路，为智慧城市精细治理与协同服务提供了基础平台支撑。

关键词：智慧城市；时空大数据平台；协同服务；虚拟组织

中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）06-0017-07

Key Technologies of Spatio-temporal Big Data Platform for Smart City Collaborative Services

HAN Zhigang[1,2,3,4], WANG Jiayao[1,2,3,4], LIU Chun[1,2,3,4], MA Jingru[1,2], XU Tao[1,4,5], WANG Lijun[1,2,3,4],
SONG Hongquan[1,2,4], ZHANG Xiwang[1,2,4]

(1. State Key Laboratory of Spatial Datum, Zhengzhou 450046, China;2. College of Remote Sensing and Spatial Information Engineering, Faculty of Geographical Science and Engineering, Henan University, Zhengzhou 450046, China;
3. Henan Industrial Technology Academy of Spatiotemporal Big Data, Henan University, Zhengzhou 450046, China;
4. Yellow River Laboratory (Henan), Zhengzhou 450046, China;
5. School of Computer and Information Engineering, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: In response to smart city development requirements and informed by advances in spatio-temporal big data research, this study delineated the conceptual connotation of spatio-temporal big data platforms and analyzed their service paradigms, and proposed a technical architecture integrating “grid integration and elastic cloud”, accompanied by six constituent technical systems for platform construction. To address the challenges of collaborative service provisioning in smart cities, this paper introduced virtual organization technology and an application service model designated as “shared spatio-temporal big data platform+”, which could facilitate efficient aggregation and service sharing of multi-source heterogeneous spatio-temporal big data, as well as cross-hierarchical, cross-regional, cross-system, cross-departmental, and cross-business collaborative services. Building upon this framework, an independently developed spatio-temporal big data platform, called Xingyao was presented, and its deployment in the Smart Jiyuan initiative was reported. Serving applications in natural resource management, ecological environmental protection, intelligent transportation optimization, disaster emergency coordination, and urban facility management, this work establishes a complete technical pipeline spanning city-wide perception, data governance, service orchestration, and intelligent decision-making, thereby providing foundational platform support for refined governance and collaborative services in smart cities.

Key words: smart city, spatio-temporal big data platform, collaborative service, virtual organization

随着全球信息技术的持续演进，社会治理与城市发展已步入大数据驱动的新阶段。城市空间中复杂地理实体与现象的演化表现出显著的时空依赖性，城市活动与社会演进均根植于特定的时空框架内。因此，城市大数据的核心属性即为多维的时空特征[1-6]。近年来，时空大数据与人工智能（AI）、物联网（IoT）及

项目来源：国家自然科学基金资助项目（42371433、U2443214）；河南省重大科技专项资助项目（251100240100）；河南省科技攻关项目（252102321107）；空间基准全国重点实验室自主课题资助项目（SKLSD2025-ZZ-16）；河南大学地理科学与工程学部重大重点项目（DLXKZD250502，DLXKKY250306）。

第一作者简介：韩志刚（1981—），教授，主要从事时空大数据与地理人工智能研究，E-mail：zghan@henu.edu.cn。

通信作者：王家耀（1936—），教授，中国工程院院士，主要从事地图学与GIS、时空大数据等研究，E-mail：wrongpu@126.com。

边缘计算等新兴技术的融合[7-12]，正深刻影响新型智慧城市的治理模式与决策体系。然而，面对海量、多源、异构的城市时空数据要素，如何实现其高效汇聚与多维融合，并将其转化为支撑科学决策的知识引擎，仍是当前智慧城市领域的关键课题[13-15]。尽管诸多城市已积极推进数字化基础设施建设，但智慧城市仍面临明显的“条块分割”与“数据孤岛”困境[16-19]。由于各垂直管理部门在数据标准、接口协议、时空基准及管理权限上存在异构性，分散的时空数据难以在统一底座上产生持续的聚合效应[1-6, 16]。现有城市信息系统多停留在业务模块的物理集成阶段，尚未形成要素级的数据协同与逻辑关联[20]。此外，基于位置的数据共享不仅受限于复杂的管理机制与部门博弈，在多元交互架构下也衍生出数据隐私保护与网络空间安全隐患[21-23]。上述技术与体制约束导致跨域协同治理效率受限，阻碍了智慧城市应用的进一步深化[22]。

智慧城市向纵深智能化演进的另一瓶颈，在于时空大数据基础理论体系仍相对薄弱，且底层数据平台尚未与智慧城市的顶层设计及各业务体系实现深度融合[24]。平台支撑的缺位导致多源数据难以在统一框架下发挥协同价值，由“数据隐含价值向计算发现价值，再向应用实现价值”转化的全链条服务模式尚不完备[13-15]。从时空数据挖掘维度来看，城市运转产生的数据流兼具高维、非线性与动态时变特征[25]。在实际的城市监测预警与治理应用中，时空特征提取的复杂性以及深度学习模型高质量训练样本的稀缺，增加了知识发现与智能决策的难度[26]。因此，建立具备时空连续特征的统一数据标准体系，以及多维融合、可信互操作的数据交换机制，是智慧城市建设由“局部响应”向“全局智能”跨越的关键基础。

针对时空大数据平台业务融合不足导致的协同服务受限，以及基础理论薄弱带来的价值转化困难等问题，基于“共用时空大数据平台+”的应用概念模型，提出构建面向新型智慧城市的协同服务时空大数据平台关键技术框架，通过研发自主可控、开放共享的统一时空大数据平台，将城市多领域业务数据聚合于时空大数据平台之上，有效突破城市数据治理的既有约束，为新型智慧城市建设与治理能力现代化提供基础平台支撑[27-28]。

1 时空大数据平台及其构建方法

1.1 时空大数据平台及其服务模式分析

时空大数据平台，是指把各种分散的和分割的大数据汇聚到一个特定的平台上（如GIS），并使之发生持续的聚合效应。这种聚合效应就是通过数据多维融合和关联分析与数据挖掘，揭示事物的本质规律，对事物做出更加快捷、全面、精准和有效的研判和预测。时空大数据平台是支撑智慧城市建设、空间信息治理与多源异构数据协同分析的重要数字基础设施。随着新型智慧城市建设的不断推进，城市运行过程中产生的数据呈现出规模海量化、来源多样化、结构异构化以及时空动态化等特征，传统单一系统架构难以满足复杂城市治理场景下的数据组织、资源协同与智能服务需求。因此，构建统一、高效、开放的时空大数据平台，已成为支撑城市数字化转型与智能化治理的重要基础。

时空大数据平台以统一时空基准为核心，通过将各类空间信息资源汇聚至统一的空间框架体系中，实现对城市多源时空信息的统一组织、融合管理与协同服务。平台所依托的时空框架基础数据主要包括时空基准数据、GNSS与CORS数据、天空地海一体化遥感数据、数字高程模型（DEM）数据、数字正射影像（DOM）数据、数字地表模型（DSM）数据、数字矢量地图（DLG）数据、海洋测绘与海图数据以及地名地址数据等。通过构建统一的空间基底，平台能够实现多源异构数据之间的关联分析、时空挖掘与知识融合，从而揭示城市运行的内在规律，为城市治理、资源调度与科学决策提供支撑。

从技术体系演进来看，当前时空大数据平台主要形成了基于网络服务（Web Service）、网格服务（Grid Service）以及云计算服务（Cloud Service）的三类典型服务模式。不同服务模式在资源共享范围、协同能力、服务组织方式及技术架构等方面存在明显差异。其中，基于Web Service的服务模式主要强调空间信息共享与空间数据互操作，通过标准化网络接口实现异构系统之间的数据交换与服务调用；基于Grid Service的服务模式是在Web Service基础上的进一步发展，其核心在于将数据、计算、平台及知识等多种资源统一抽象为服务，实现多层次、多节点之间的协同计算与复杂任务协作；而基于Cloud Service的服务模式则更加注重资源虚拟化与弹性调度能力，通过云平台实现大规模计算资源与数据资源的统一管理，为用户提供按需分配的服务能力。为系统分析三类服务模式在技术体系与服务能力方面的差异，对其内涵、功能、关键技术、标准体系及服务共享特征进行对比分析，如表1所示。

综合比较可知，三类服务模式均采用面向服务的

表1　三种服务模式的比较

比较内容		网络服务	网格服务	云服务
内涵		架构在各种异构平台上的一层通用的，与平台无关的或独立于平台和实现的软件架构。	核心是把网格节点上的所有信息资源都抽象为服务，根据用户需求，向用户提供服务聚合后的协同计算资源和及时的个性化服务。	是一种新的计算能力的服务模式，它把IT资源、数据资源等通过虚拟化技术管理起来，组成一个庞大的“资源池”，并将其作为服务通过网络传递给用户。
功能	运行环境	网络（Web）	网格（Grid）	云平台
	服务内容	DaaS，SaaS	DaaS，SaaS，PaaS，IaaS，KaaS	DaaS，SaaS，PaaS，IaaS，KaaS
	生命周期	无	有	无
	临时服务	不支持，永久服务	支持创建临时服务	无
关键技术		XML，SOAP，UDDI，WSDL	DGSM，WSRF，MDS，GSDL	分布式编程模型（Map Reduce）；分布式存储和管理技术；虚拟技术；云计算平台管理技术。
标准	服务描述	WSDL	GSDL	内部统一标准
	服务发现	UDDI	WSIL，MDS（监控与发现服务）	
	服务组合		OGSA（开放网格服务架构） OGSI（开放网格服务基础设施）→ WSRF（网络服务资源框架）	
技术架构		SOA	SOA	SOA
发展			Web Service 标准协议 / OGSA / Grid Service特有的标准协议	
服务共享特点		地理信息共享与空间数据互操作	不同类型层次节点间信息资源共享与协同工作	统一服务方为用户提供信息资源共享

体系架构（service-oriented architecture, SOA），其核心目标均在于解决资源共享与服务协同问题，但在资源组织方式、协同层级以及服务实现机制方面存在明显差异。Web Service强调标准化服务接口与空间数据互操作；Grid Service进一步强化了跨节点协同计算与复杂任务组织能力；Cloud Service则通过虚拟化与资源池化机制，实现了面向用户的弹性资源供给。总体而言，Web Service是基础，Grid Service是其面向协同计算的发展形式，而Cloud Service则可视为Grid Service的工程化与商业化实现。从智慧城市协同服务需求的角度，Grid Service可实现不同类型节点的统一服务封装与聚合，实现跨层次的节点协同；而Cloud Service模式更强调资源的弹性伸缩；融合二者各自优势的模式是实现智慧城市按需协同服务的必然选择。

1.2　时空大数据平台构建方法

时空大数据平台构建的技术方法可以概括为六大核心技术体系。①构建一个开放共享的体系架构，将资源、数据和功能全部实现服务化，采用服务调用、服务组合的方式，实现平台对时空大数据的组织、管理、检索、调度、查询、分析、挖掘和表达，强化共用，整合通用，开放应用。②构建一个天地一体的信息服务网格（Grid），为实现范围更加广泛的信息资源共享与多层次多节点的协同工作提供崭新的运行环境。包括：时空信息获取（传感网接入）、处理（生产）、应用（服务）的一体化运行环境；多源异构时空信息集成、融合与同化的环境；实现基础设施即服务IaaS（Infrastructure as a Service）、平台即服务PaaS（Platform as a Service）、软件即服务SaaS（Software as a Service）、数据即服务DaaS（Data as a Service）以及知识即服务KaaS（Knowledge as a Service）等信息资源共享环境；多层次多节点协同解决问题（协同工作）的环境；以及已建分布异构地理信息系统、数据库等的网络/网格化集成应用环境。③构建一个科学实用的数据体系（数据分类、编码、数据目录和元数据），为时空大数据平台提供全球一致、陆海一体、无缝连续的一致性时空大数据支撑。④构建一个通用的功能平台，通过服务化封装，实现各类信息资源的高效调度，支撑信息服务的智能化。⑤采用虚拟组织（virtual organization，VO）技术，构建一个高效运行的组织管理指挥体系，实现信息资源的汇聚共享和跨部门的协调联动，为时空大数据平台安全可靠运行提供支撑。⑥建立一套标准体系，保证时空大数据平台规范、有序、健康、安全、可持续运行。这是目前急需研究解决的问题。国外，地理信息标准和网络/网格（栅格网）服务的标准已基本形成体系，包括服务分类标准、服务描述标准、服务注册标准、服务“三角色”（服务提供者、请求者与服务代理）之间的通信标准、监控与发现服务标准等。

为实现多源异构时空资源的统一组织与服务化协同，采用面向服务的体系架构（service-oriented architecture，SOA）构建时空大数据平台。SOA架构通过服务标准化封装与松耦合集成机制，实现不同系统、不同平台以及不同业务之间的互操作与协同共享，从而提高平台的可扩展性、复用性与动态服务能力。在SOA架构基础上，为兼顾大规模分布式资源协同与海量数据弹性管理需求，采用“网格集成+弹性云”相

结合的时空大数据平台技术体制。该技术体制充分融合了网格计算在多节点协同计算、异构资源组织以及复杂任务调度方面的优势，以及云计算在资源虚拟化、动态伸缩与海量存储管理方面的能力，构建形成覆盖天空地海的统一信息服务网格（Grid）。其中，网格体系主要负责广域分散资源之间的逻辑统一与协同组织，云平台则重点实现资源池化管理与按需动态调度，从而形成兼具协同能力与弹性能力的新型平台架构。在该技术体制支撑下，平台构建了面向分布式存储、智能计算、服务编排与动态调度的多层次技术体系，实现了不同区域、不同部门以及不同类型资源之间的统一接入与协同管理。同时，平台能够支持IaaS/PaaS/SaaS/DaaS/KaaS等多层级多类型服务模式，为智慧城市复杂业务场景提供统一的时空信息资源共享环境。此外，平台通过弹性资源调度机制，可根据业务负载动态分配计算、存储与网络资源，从而有效提升系统运行效率与服务响应能力，满足海量时空数据环境下高并发、高实时性的应用需求。

2 面向智慧城市的时空大数据平台协同服务技术

2.1 虚拟组织（VO）协同技术

为突破传统城市信息化建设过程中各部门之间存在的“信息孤岛”与“条块分割”问题，平台进一步引入虚拟组织（virtual organization，VO）协同机制。VO机制能够在保障网络空间数据安全与访问控制的前提下，通过动态组织管理与服务协同方式，实现跨部门、跨区域以及跨层级的信息资源共享与协同调度，其总体架构如图1所示。在该机制下，平台能够根据不同业务需求动态构建协同组织关系，实现多部门之间的数据互通、服务共享与联合决策，提高复杂场景下城市运行管理与应急响应效率。根据组织结构稳定性与协同模式差异，VO可划分为静态VO与动态VO两种类型。其中，静态VO主要适用于长期稳定的协同业务场景，其组织关系相对固定；动态VO则能够根据任务需求动态调整组织结构与资源配置，更适用于复杂突发事件及实时协同任务场景，其组织模式如图2所示。

2.2 “共用时空大数据平台+”应用服务模型

随着新型智慧城市建设不断推进，城市治理模式逐渐由传统的信息化管理向数据驱动、时空协同与智能决策模式演化。城市运行过程中涉及自然资源、交通、市政设施、生态环境、公共安全、社会治理以及应急管理等多类型业务系统，不同部门之间长期存在数据分散、系统异构、业务协同效率低以及资源共享

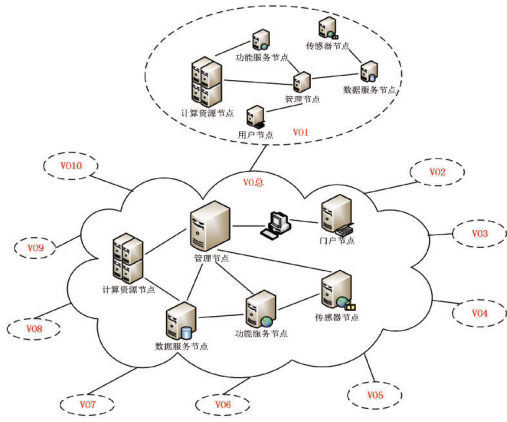


图1 虚拟组织（VO）

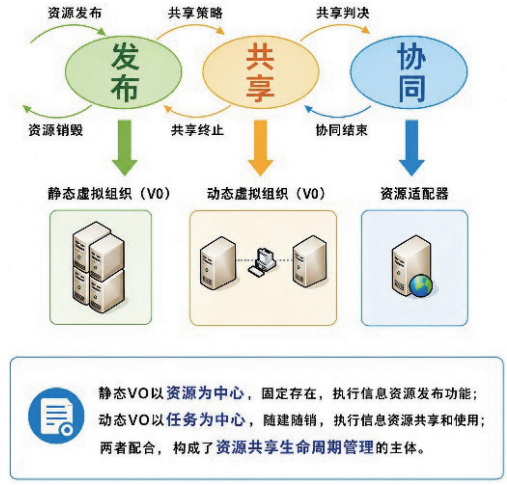


图2 静态VO与动态VO

困难等问题，传统面向单一业务场景的信息系统已难以满足智慧城市对全域感知、实时协同与智能决策的综合需求。因此，如何构建统一的时空信息组织体系与协同服务体系，成为智慧城市建设的重要研究方向。基于前述时空大数据平台架构与服务体系，本文进一步构建了面向智慧城市“共用时空大数据平台+”应用服务模型，包括两种类型：①“共用时空大数据平台+民用”，指将规划、交通、水利、农业、管网、人口、医疗卫生、教育、文化旅游、电力、经济、公安等数据聚合在“共用时空大数据平台”上，支撑数字地球、数字中国、新型智慧城市及各部门（行业）应用系统、政府社会经济发展规划决策支持系统、应急指挥系统等的建设；②“共用时空大数据平台+军用”，指将战场环境中的军事要素信息聚合在“共用时空大数据平台”上，形成战场时空大数据平台，支撑联合作战一体化指挥平台等的建设。这一应用服务模型的“+”不仅是“跨界”，而且还要“融合”，面向智慧城市实际业务需求，重点构建城市多源时空信息的应用服务体系，实现城市运行状态感知、时空信息组织、跨部门协同分析以及综合决策服务，从而实现

“共用时空大数据平台+”的增值服务。

3　星曜时空大数据平台研发及智慧城市应用

3.1　星曜时空大数据平台研发

在上述SOA架构、“网格集成+弹性云”技术体制以及统一时空数据体系基础上，作者团队研发了具备自主知识产权的“星曜时空大数据平台”。平台采样基于网格集成和弹性云技术体制设计的“六层两翼”体系架构，其中，“六层”自下而上分为智能感知层、基础设施层、数据支撑层、基础功能层、应用服务层和业务展示层，“两翼”是指平台建设应遵循的标准规范体系和安全保障体系，最终通过各种应用终端提供一站式服务和可视化。平台构建了一个开放的服务体系架构，对计算、存储、网络、数据、算法、功能、模型和知识等资源从逻辑上进行服务化，利用注册中心、资源池和异地服务组合等技术，实现异地不同节点间的服务调用、服务组合和服务聚合。平台基于“网格集成”的信息资源共享与协同工作技术模式，通过搭建协同管理的虚拟组织，完成了多节点的资源汇聚共享与协调联动，同时采用“共用时空大数据平台+（军用、民用）”的应用模式，这里的“+”是跨界融合，通过构建业务流、服务链，能够快速搭建不同的行业应用，满足用户多种多样的业务需求。平台通过标准服务化封装机制，实现了时空数据管理、资源调度、服务协同与智能分析的一体化组织，构建形成面向智慧城市运行的数字化基础底座，其界面如图3所示。



图3　星耀时空大数据平台界面

星曜时空大数据平台主要功能模块包括6个方面（图4）。①数据引擎。数据引擎主要面向天空地海一体化传感器网络的数据接入需求，实现多源异构时空数据的采集、清洗、融合与同化处理。平台支持GNSS、CORS、DEM、DOM、DSM、DLG以及遥感影像等多类型时空框架基础数据的统一接入与高效管理，并通过标准化处理流程实现数据质量控制与统一组织，为后续时空分析与智能服务提供数据基础。②服务注册中心。注册中心主要基于统一描述、发现与集成机制，实现微服务与空间数据服务接口的标准化注册、查询与路由管理。该模块能够支持SOA架构下服务资源的统一管理与动态发现，提高平台不同业务系统之间的互操作能力与服务复用效率。③服务资源池。资源池模块采用虚拟组织与资源池化管理机制，对平台计算资源、存储资源及网络资源进行统一组织与动态调度。通过资源虚拟化技术，平台能够根据不同业务需求动态构建对应的计算与存储环境，从而提高资源利用率与系统弹性扩展能力。④智能服务链。智能服务链主要面向复杂城市业务协同需求，实现基础网格化服务节点的动态编排与聚合。平台能够根据具体业务场景，对不同功能模块、服务接口及计算资源进行自动组织与流程调度，从而形成跨系统、跨部门的协同服务能力，提高复杂任务处理效率。⑤可视化工作平台。可视化平台主要面向智慧城市运行监测与时空信息表达需求，提供具备高交互性、强实时性以及多主题动态切换能力的二三维一体化可视化渲染环境。同时能够实现多源时空数据的动态展示、城市运行状态监测以及复杂场景下的空间分析结果表达，从而提高平台信息服务的直观性与辅助决策能力。⑥运维管理平台。运维管理平台以支撑服务平台的硬件资源及其上运行的任务调度子系统、数据服务子系统及数据计算平台等关键服务运行状态作为数据来源，通过对所采集指标数据的监控与分析，可及时发现平台运行的故障及瓶颈，从而保障各个子系统的稳定运行，并为系统的性能调优提供数据支撑。



图4　星耀时空大数据平台功能模块体系

3.2　智慧济源时空大数据平台应用

基于星曜时空大数据平台，结合河南省济源市政府、企业和社会公众等不同用户需求，建设了基于统一网络运行环境的智慧济源时空大数据平台。平台采用“基础设施+资源池+智能服务链+应用示范”总体框架（图5）。“基础设施”包括信息基础设施和数据基础设施，其中信息基础设施主要指数据中心的软

硬件环境，包括硬件（计算机、服务器等）、软件（虚拟化软件、云GIS）、网络（有线、无线）和云管理系统等，数据基础设施包括时空框架数据和时空变化数据，它们按各自的数据结构、数据特点和应用模式在时空大数据平台采用分布式文件系统和分布式数据库系统进行统一的组织、存储、管理和调度；“资源池”是采用虚拟化技术和池化技术，将计算、存储、网络、数据、算法、模型、功能和知识等资源摈弃其物理属性，按逻辑组织成一系列资源容器，使得最终用户或上层应用无须关注资源的具体位置和物理特性而能够直接调用的资源存在形式；“智能服务链”是资源池服务化的具体体现，也是服务发布、服务注册、服务调用和服务组合的应用中心；“应用示范”是“共用时空大数据平台+行业”应用模式的具体实践。

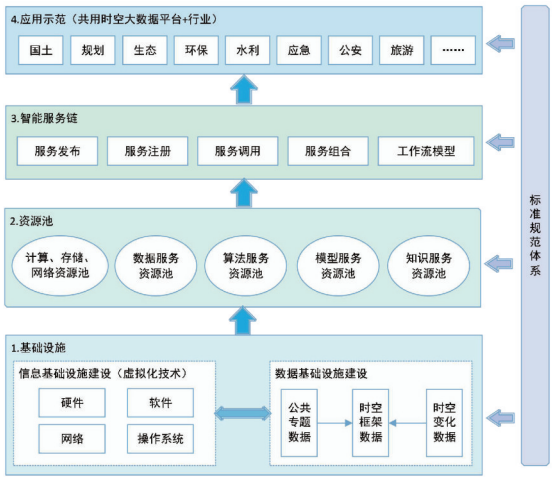
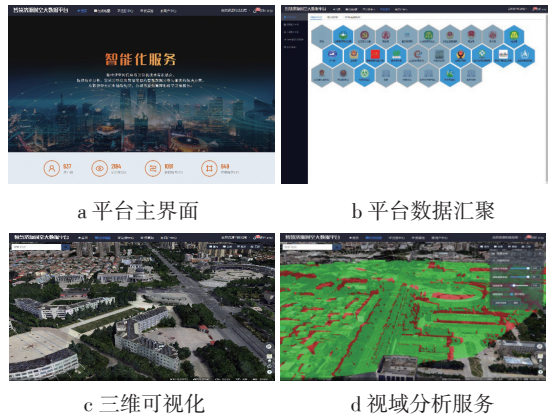


图5 智慧济源时空大数据平台总体框架

智慧济源时空大数据平台界面及应用如图6所示。平台构建了统一的全域感知与时空数据接入机制，实现城市多源感知数据的标准化汇聚与动态更新。针对不同设备协议、通信方式与数据结构之间的差异，采用统一模型对异构设备进行标准化封装，形成统一的数据接入框架。平台采用“数据分类—元数据描述—目录组织—服务发布”的组织模式，对影像、矢量、三维模型、实时感知数据及专题业务数据等进行统一分类管理，并构建相应的数据模板与元信息模板，实现数据结构、属性规则及可视化表达的标准化描述。平台采用面向服务（SOA）的资源管理机制，将数据资源封装为标准化服务，支持OGC标准服务与REST接口调用，并通过服务注册与调度机制实现服务资源的注册、发现、监控与动态管理，从而增强跨部门、跨平台条件下的数据共享与协同能力。平台构建了基于服务链的智能协同调度模型，以服务链引擎为核心，对数据服务、分析服务、计算资源及可视化服务进行动态编排，实现复杂业务流程的自动化组织与协同执行。平台通过虚拟组织（VO）机制实现跨部门资源权限管理与安全共享，不同用户可依据组织角色与业务权限访问相应的数据与服务资源，从而保障智慧城市协同应用过程中的安全性与可控性。平台还构建了统一的空间分析与决策服务模型，实现GIS分析能力的服务化封装与智能化调用，支持缓冲区分析、叠加分析、网络分析、路径优化、密度分析、地形分析及栅格分析等多类型空间分析功能，并通过统一服务接口实现参数化调用与结果实时返回。平台构建了面向不同用户的综合应用服务体系，在城市治理领域，平台可支撑城市运行监测、网格化管理、事件协同处置与综合指挥调度；在自然资源与生态环境领域，可实现资源监管、环境监测及时空评估；在智慧交通领域，可支撑交通流量监测、拥堵分析与路径优化；在公共安全领域，可实现风险预警、应急联动与灾害辅助决策；在城市基础设施管理领域，则可实现地下管网、市政设施及建筑设施的动态监测与运维管理。此外，平台支持Web端与移动端协同应用，并兼容天地图、高德地图、百度地图、OGC标准地图服务，实现多终端、多平台条件下的统一服务共享。总体上，平台构建了从全域感知、数据治理、服务组织到智能决策的完整技术链路，实现了济源市多源异构时空大数据的统一管理与协同应用，为城市精细治理与协同服务提供了基础平台支撑。



a 平台主界面 b 平台数据汇聚

c 三维可视化 d 视域分析服务

图6 智慧济源时空大数据平台应用

4 结 语

针对智慧城市建设中的协同服务需求，本文在深入分析时空大数据平台内涵及其服务模式基础上，提出了“网格集成+弹性云”相结合的时空大数据平台技术体制，融合网格计算异构聚合与弹性云计算按需伸缩能力，构建六大核心技术体系，实现广域分散资源逻辑统一与动态调度。研发自主知识产权的星曜时

空大数据平台，创新设计数据引擎、注册中心、资源池、智能服务链及可视化平台、运维管理平台六大功能模块，打造全链条自主可控的数字底座。首创“共用时空大数据平台+”应用模式，将基础时空数据与专题业务解耦重构，构建“一源多用、全域覆盖、协同服务”的共用底座，突破“一应用一平台”孤岛模式，形成可复制的“平台+应用”协同服务生态体系。基于上述技术成果，建设了智慧济源时空大数据平台，为自然资源监管、国土空间规划、生态环境保护及公共设施管理等提供了时空数字底座支撑。未来需进一步结合时空智能领域最新研究进展，在平台上开展时空大数据聚合和存取效率测试优化，研发城市时空大模型并接入时空大数据平台，进一步提升平台对智慧城市模拟推演及时空预测的决策支撑能力。

参考文献

[1] 王家耀,武芳,郭建忠,等. 时空大数据面临的挑战与机遇[J]. 测绘科学,2017,42(7):1-7

[2] 王家耀. 时空大数据时代的地图学[J]. 测绘学报,2017,46(10):1226-1237

[3] 王家耀,武芳,闫浩文. 大变化时代的地图学[J]. 测绘学报,2022,51(6):829-842

[4] 王家耀,王利军,程士源. 时空大数据及其应用[J]. 测绘科学技术学报,2024,40(4):331-337

[5] 朱庆,付萧. 多模态时空大数据可视分析方法综述[J]. 测绘学报,2017,46(10): 1672

[6] 马照亭,刘勇,沈建明,等. 智慧城市时空大数据平台建设的问题思考[J]. 测绘科学,2019,44(6):279-284

[7] Bibri S E, Alexandre A, Sharifi A, et al. Environmentally Sustainable Smart Cities and Their Converging AI, IoT, and Big Data Technologies and Solutions: An Integrated Approach to an Extensive literature Review[J]. Energy Informatics,2023,6(1):1-39

[8] Sarker I H. Smart City Data Science: Towards Data-driven Smart Cities with Open Research Issues[J]. Internet of Things,2022,19:100528

[9] 李德仁. 论时空大数据的智能处理与服务[J]. 地球信息科学学报,2019,21(12):1825-1831

[10] Mohammadi M, AL-fuqaha A. Enabling Cognitive Smart Cities Using Big Data and Machine Learning: Approaches and Challenges[J]. IEEE Communications Magazine, 2018,56(2):94-101

[11] 郭斌,刘思聪,刘琰,等. 智能物联网: 概念,体系架构与关键技术[J]. 计算机学报,2023,46(11): 2259-2278

[12] 吴志强.人工智能辅助城市规划[J]. 时代建筑,2018,35(1):6-11

[13] Shekhar S, Jiang Z, Ali R Y, et al. Spatiotemporal Data Mining: A Computational Perspective[J]. ISPRS International Journal of Geo-information,2015,4(4):2306-2308

[14] 唐璐,许捍卫,丁彦文.融合多源地理大数据的城市街区综合活力评价[J]. 地球信息科学学报,2022,24(8):1575-1588

[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):1051-1061

[16] Quek H Y, Sielker F, Akroyd J, et al. The Conundrum in Smart City Governance: Interoperability and Compatibility in an Ever-growing Ecosystem of Digital Twins[J]. Data & Policy,2023,5:e6

[17] Nelson A, Toth G, Linders D, et al. Replication of Smart-city Internet of Things Assets in a Municipal Deployment[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(4): 6115-6124

[18] Gubareva R, Lopes R P. Literature Review on the Smart City Resources Analysis with Big Data Methodologies[J]. SN Computer Science,2024,5(1):152

[19] Huang H, Yao X A, Krisp J M, et al. Analytics of Location-based Big Data for Smart Cities: Opportunities, Challenges, and Future Directions[J]. Computers, Environment and Urban Systems,2021,90:101712

[20] 刘尚钦,张福浩,仇阿根,等. 基于城市信息单元的多源时空数据融合框架[J]. 集成技术,2023,12(3):34-47

[21] YaoA, Li G, Li X, et al. Differential Privacy In Edge Computing-based Smart City Applications: Security Issues, Solutions and Future Directions[J]. Array,2023,19:100293

[22] 李建华,银鹰,李思源,等. 大数据安全与隐私计算技术综述[J]. 网络空间安全科学学报,2024,2(6):1-15

[23] Ziegeldorf J H, Morchon O G, Wehrle K. Privacy in the Internet of Things: Threats and Challenges[J]. Security and Communication Networks,2014,7(12):2728-2742

[24] Janowicz K, Van Harmelen F, Hendler J A, et al. Why the Data Train Needs Semantic Rails? [J]. AI Magazine,2015, 36(1):5-14

[25] Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. Deep Learning[M]. Mit Press, Cambridge,2016:330-372

[26] Ma M, Bartocci E, Lifland E, et al. A Novel Spatial-temporal Specification-based Monitoring System for Smart Cities[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(15): 11793-11806

[27] Sil V B N, Khan M, Han K. Towards Sustainable Smart Cities: A Review of Trends, Architectures, Components, and Open Challenges in Smart Cities[J]. Sustainable Cities and Society,2018,38:697-713

[28] Tsybina E, Lebakula V, Zhang F, et al. Smart Cities: the Data to Decisions Process[J]. Nature Cities, 2025, 2(2): 135-143