

智慧城市时空信息综合决策关键技术与系统

陈能成^{1,2} 刘迎冰¹ 盛浩³ 王伟^{1,2}

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079
2 地球空间信息技术协同创新中心,湖北 武汉,430079
3 北京航空航天大学计算机学院,北京,100191

摘 要:如何根据智慧城市运行管理、建设规划和应急指挥等政府决策部门的综合需求,实现分散信息资源的统一集成、复杂模型资源的有效调用和决策时空信息的高效共享与可视化,成为现阶段城市综合决策的重大挑战。首先提出了感知联网与时空信息接入、地理空间模型联网与认知、决策时空信息聚焦服务等智慧城市时空信息综合决策共性关键技术,突破了城市时空信息智能分析、协同决策与主动聚焦服务的瓶颈;其次,设计并实现了智慧城市时空信息综合决策原型系统,并以太原市燃气泄漏应急响应为例,验证了系统辅助城市综合决策的可行性和适用性;最后,概括了城市(群)立体感知网、城市(群)模型网和城市(群)时空大数据 3 大主要发展趋势。

关键词:智慧城市;时空信息;综合决策;感知网;模型网;聚焦服务;应急响应;事件驱动

中图分类号:P208 **文献标志码:**A

随着智慧城市的建设和应用,亿万个无所不在的各类传感器产生了越来越多的数据^[1]。如何利用物联网、云计算、大数据技术将虚实世界融合,构建可智能感知的、泛在化的空间信息服务^[2],实现对人和机器的感知、分析、计算、控制和服务^[3],是智慧城市发展过程中亟需解决的问题。此外,由于我国城市化进程的加快,自然灾害、事故灾难、公共卫生和社会安全等突发事件在城市愈加频繁发生,给国家和人民的生命财产安全造成了严重危害。智慧城市时空信息综合决策的目标是实现城市多层次决策的智能化,为城市运行、管理和规划提供面向多层次、细粒度用户的综合辅助决策支持能力。因此,如何在城市突发环境中,根据综合决策的任务需求,合理采取应急响应预案,尽快消除不利影响,有效降低灾害损失就显得尤为重要。

现有的智慧城市时空信息综合决策存在信息标准各异、模型资源多样、决策过程效率低下等问题,难以实现网络环境下分布式、异构信息资源的统一集成、模型资源的有效调用和决策信息的高效共享与可视化,具体表现在以下 3 点。

1)信息种类多样,标准各异,难以集成共享。

随着城市监测设备应用的不断深入,传感器种类越来越多,而产生的观测数据却处于彼此的“信息孤岛”,难以发现与访问^[4]。同时,不同的行业部门建立了针对各自应用的共享系统和元数据标准^[5],信息资源难以跨平台共享。如何在一个统一的架构上合理分析异构性极强的多元数据是智慧城市面临的一项挑战^[6]。目前,对于城市各类信息资源的集成管理尚缺乏一种统一描述与共享的方法,不能满足用户自由获取与协同应用的需求。

2)模型资源复杂,难以应用于综合决策任务。以往模型的管理大部分只支持同一类别的模型,如数学模型库只支持数学模型,决策模型空间只支持决策模型,GIS 模型库只支持 GIS 模型。以 GIS 操作来模拟现实世界在一个时刻或一个时间段地理过程的地理空间模型已成为智慧城市综合决策的重要内容^[7-8]。但是,地理空间决策过程较为复杂,涉及到的模型方法多样,数据来源广泛,具有多元性、复杂性与综合性的特点^[9]。面对综合决策任务时,不同类别的模型难以统一管理 with 高效调用。

3)决策处理过程效率低下,缺乏决策过程可视化。现有的决策支持和服务模式存在过程链难

以协作、精确高效发现困难和决策结果网络化共享与个性化服务不足等问题^[10]。由于缺乏高效的决策时空信息,城市应急响应综合决策的“智慧化”受到了严重阻碍^[11],因此,提高决策处理过程的效率,实现决策过程可视化是智慧城市时空信息综合决策的重要内容。

本文通过研究智慧城市时空信息综合决策的共性关键技术,设计并实现了智慧城市时空信息综合决策原型系统,并以太原市燃气泄漏应急响应为例进行了应用验证,最后对智慧城市时空信息综合感知与管理的发展趋势进行了总结。

1 智慧城市时空信息综合决策关键技术

1.1 感知联网与时空信息接入

智慧城市建立的感知网是信息化应用的高级发展,旨在推荐生产、生活与公共服务应用,完善公共服务体系,优化城市产业融合和产业结构,提升城市各领域综合信息化服务水平^[12]。针对城市多源、异构时空信息资源难以智能感知、无法高效管理与广泛共享等问题,本文采用突破地域限制的传感器技术,构建泛在的城市感知网,实时监测城市运行状态,动态发现城市演化规律,促进智慧城市健康发展。

智慧城市时空信息主要包含时间与空间的范围信息和参考信息。基于元对象设施元建模理论的城市传感器资源描述模型^[11]研究了城市传感

器资源分类体系及其时空特征,通过向导式预定义的感知网时空信息资源模型模板建立统一表征的元数据模型,实现了城市多源异构感知网时空信息资源的统一描述与标准化建模。针对异构传感器的间接注册和注册信息不完备等问题,基于网络目录服务技术的传感器直接注册方法^[13]通过注册中心对多源异构的感知网时空信息资源进行统一管理和维护,实现了网络环境下智慧城市时空信息资源的集成管理与高效检索。

本文根据城市时空数据的不同类型特征,采用多种数据组织方式(关系型数据库如 Oracle,非关系型数据库如 MongoDB 等),提出了一种分布式解决方案,来管理城市多源异构的空间数据、专题数据、传感器观测数据等城市时空数据资源;并根据城市感知网实时动态的监测需求,建立标准化共享的地理信息 Web 服务与传感器数据服务,以支持分布式多源异构城市时空数据的接入和发布。

开放地理空间联盟发布了一系列基于 Web 的地理信息共享与互操作的标准规范,如网络要素服务、网络覆盖服务和网络处理服务等,以及一系列提高传感器服务标准化^[14]的接口规范,如传感器观测服务、传感器规划服务和传感器事件服务等。如图 1 所示,智慧城市感知联网与时空信息接入利用城市感知网时空信息资源描述模型来统一描述城市时空信息资源,并通过地理信息 Web 服务与传感器数据服务获取基础地理信息数据与传感器及其观测数据,实现城市感知网时空信息资源的实时接入与动态发现。

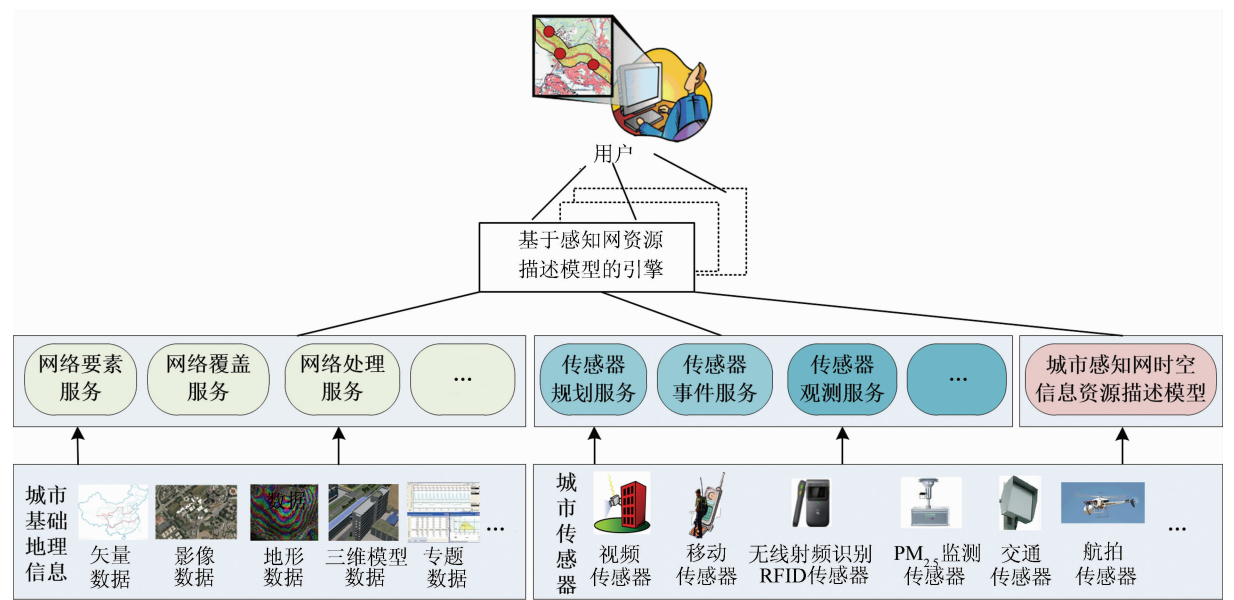


图 1 智慧城市感知联网与时空信息接入框架

Fig. 1 Framework of Perception Networking and Spatio-Temporal Information Access in Smart City

1.2 地理空间模型联网与认知

智慧城市综合决策的主要过程就是使用各类模型解决相应问题。在对某个问题进行决策处理时,需要大量模型的协调配合。针对地理空间模型的领域各异、资源分散与难以集成共享等问题,对模型信息进行形式化表达,构建城市智能决策模型库,实现网络环境下地理空间模型的管理、共享和重用。

地理空间模型大多数为数学模型,除了具有数学模型的一般特征之外,因其自身性质与任务还有一些其他特性^[9]。①空间性。地理空间模型所描述的现象或过程往往与空间位置、分布以及差异等密切相关,模型的空间运算特征突出。②动态性。地理空间模型描述的现象或过程也与时间有着密切联系,不同动态性的模型在系统中的使用效率差别较大,需要考虑时间对模型目标的影响及数据的可能更新周期等问题。

通过研究地理空间模型的方法、过程和参数要求,对模型的输入数据和模型结果进行系统分析,抽取模型时空信息共性要素^[15],实现了异构模型资源的统一建模与注册发现,促进了模型基本特征、方法和过程控制等信息的认知与理解,为城市地理空间决策模型的高效管理、组织调配和网络化运行奠定了基础。

为了实现多领域城市地理空间决策模型的联网协同,本文构建了基于模型信息资源共享与互操作的智慧城市地理空间模型联网与认知框架。如图2所示,在网络环境下,将分布式城市地理空间决策模型封装发布为网络服务;用户依据模型的元数据信息建立决策模型元模型,并注册到注册中心,形成城市地理空间决策模型虚拟模型库,实现模型服务的增加、删除、修改、查询等管理操作及模型发现、服务调用等共享操作,为政府各职能部门提供多领域、多层次的智能辅助决策支撑。

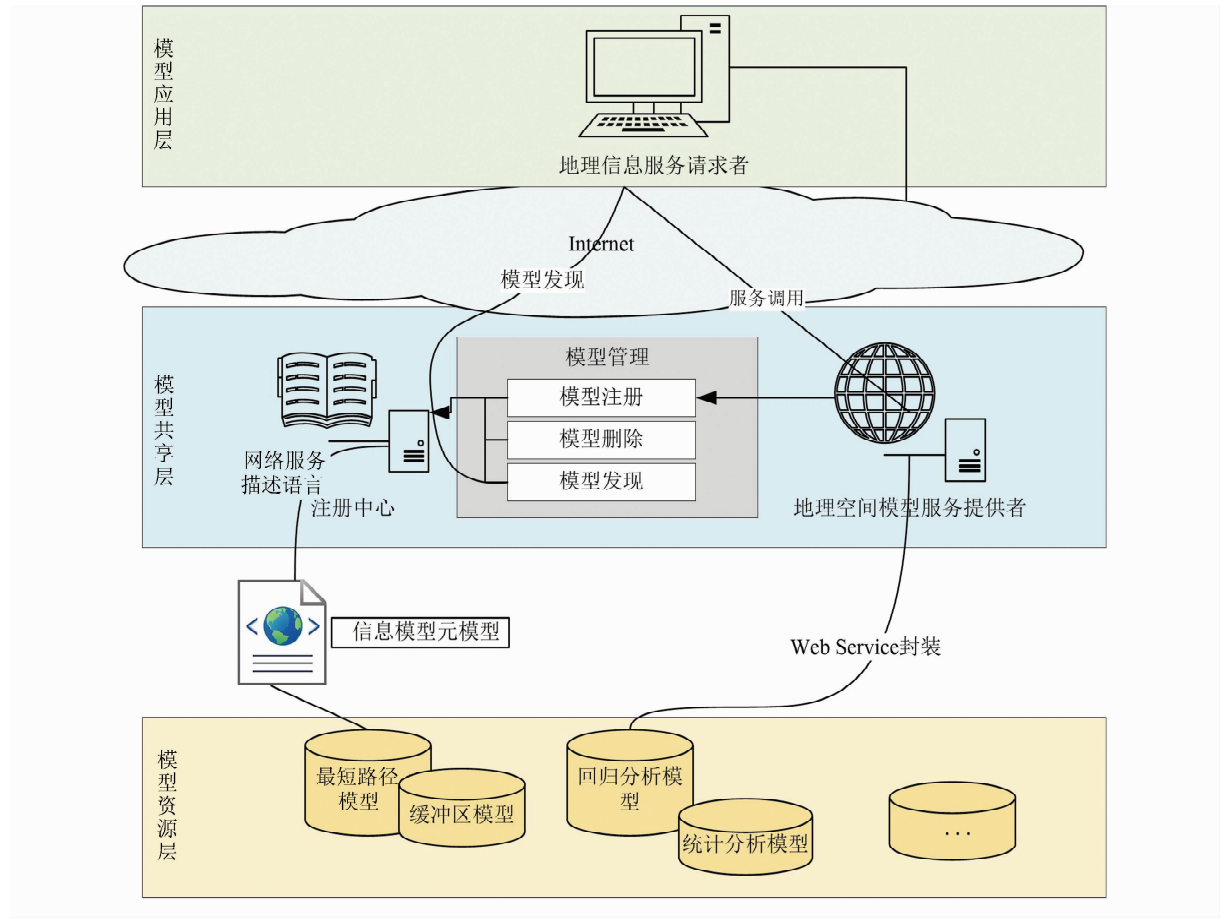


图2 智慧城市地理空间模型联网与认知框架
Fig.2 Framework of Geospatial Model Networking and Cognition in Smart City

1.3 决策时空信息聚焦服务

聚焦服务是解决网络中信息资源个性精确化服务的主要途径之一。在智慧城市公共突发事件

应急响应中,聚焦服务包括两个方面。一是对分布、异构的城市决策信息资源(数据资源和分析与决策模型服务资源)进行统一管理,实现信息资源

的聚焦;二是为政府、企业和市民提供个性化的信息服务,实现信息服务对象的聚焦。此外,GEA (Government Enterprise Architecture)^[16]引入事件驱动的概念,提出了一种基于对象和过程模型的聚焦服务模型,涵盖了城市突发事件应急响应涉及的各个领域,可以为智慧城市综合决策提供高层次的指导。

针对目前城市时空信息资源无法高效聚集和网络化共享困难等问题,事件驱动的城市决策时空信息聚焦服务^[10]利用聚焦服务模型深化聚焦服务过程,建立了城市公共突发事件和时空信息资源、分析结果和决策之间的桥梁,实现了应急响应需求、时空信息资源和决策的无缝衔接和聚合,辅助决策者对城市突发事件进行快速有效处置。

在事件驱动的城市决策时空信息聚焦服务中,注册中心、城市公共突发事件、城市时空信息资源、聚焦服务和社会实体之间以注册中心为中心,发生直接或间接交互。交互过程主要包括时空信息资源注册、事件触发、抽象服务链查询和获取、服务绑定和数据关联、服务链实例执行及分析与处理结果注册信息构建、分析结果注册及共享、分析结果获取和决策处置等,实现事件驱动的抽象决策时空信息聚焦服务链精确高效发现、运行过程全程实时监控,以及决策结果网络化共享。

事件驱动的智慧城市决策时空信息聚焦服务框架如图 3 所示,通过城市公共突发事件触发决策过程,支持决策服务的组合与优化,并针对政府、企业和市民等不同的社会实体提供及时、可靠、个性化的时空信息服务,高效聚集了城市数据、服务和决策模型等时空信息资源,实现了事件发生、预警通知、信息处理和决策支持的联动机制,提高了城市综合决策智慧服务能力和科学决策水平。

2 智慧城市时空信息综合决策原型系统与应用

智慧城市时空信息综合决策原型系统以注册中心为桥梁,通过城市管线、水务、电网等突发事件建模,基础地理信息、传感器及观测数据的接入与耦合,地理空间模型管理,决策时空信息聚焦服务,实现事件建模结果、多源时空数据和模型计算结果的统一接入、集成管理、标准化检索与共享,以及城市时空信息资源和决策过程的实时动态可视化与仿真模拟,用于城市设施日常管理和突发事件应急响应,为决策者提供直观的决策依据和决策信息。

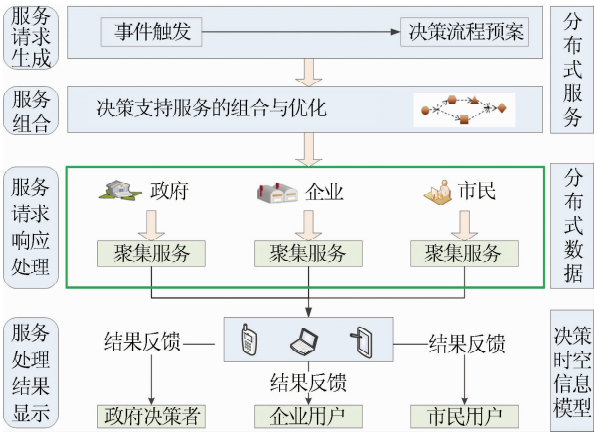


图 3 事件驱动的智慧城市决策时空信息聚焦服务框架
Fig. 3 Framework of Event-Driven Focusing Service for Decision Spatio-Temporal Information in Smart City

2.1 系统体系结构

系统采用 B/S 和 C/S 混合架构,总体框架分为数据层、组件层、服务层、功能层和应用层 5 个层次(图 4)。

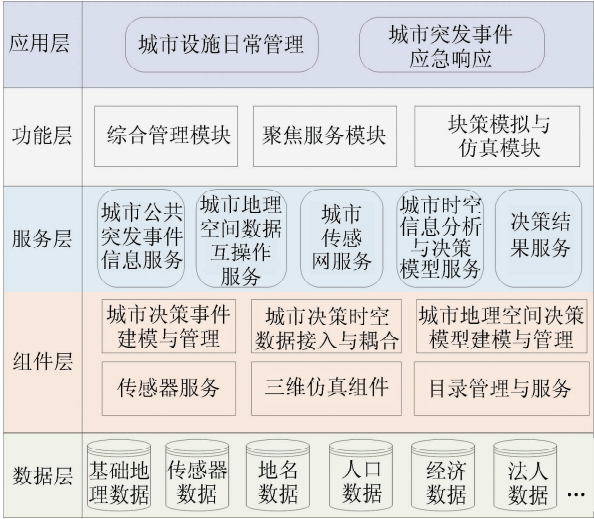


图 4 系统体系结构

Fig. 4 Architecture of the Proposed System

- 1)数据层。提供基础地理数据、传感器数据、地名数据、人口数据、经济数据和法人数据等信息资源。
- 2)组件层。包括城市决策事件建模与管理、城市决策时空数据接入与耦合、城市地理空间决策模型建模与管理、传感器服务、三维仿真组件和目录管理与服务等组件,为系统后台服务和前台三维场景展示提供基础。
- 3)服务层。提供城市公共突发事件信息服务、城市地理空间互操作服务、城市传感网服务、城市时空信息分析与决策模型服务和决策结果服务等,为功能层提供信息资源的快速访问模式,提

高突发事件的响应速度和决策效率。

4)功能层。包括综合管理、聚焦服务和决策模拟与仿真等模块,实现城市时空信息资源的综合管理和高效聚集,以及突发事件应急响应过程的实时动态模拟等。

5)应用层。基于功能层完成城市设施的日常管理和城市突发事件的应急响应与决策。

2.2 系统功能

系统主要包含以下3个模块的功能。

1)综合管理。包括城市日常管理和突发事件应急响应。通过实时获取传感器观测数据完成对示范区域的日常监测;当获取的数据发生异常时,由突发事件引发事件预警,并通过决策时空信息聚焦服务获取所需的时空数据和地理空间模型,显示事件发生区域的实时传感器观测数据、决策任务和模型计算结果等信息。

2)聚焦服务。包括抽象决策时空信息聚焦服务链建模、注册、决策结果发布与注册等功能,聚集城市各类数据资源和服务资源,辅助城市公共突发事件各阶段处置决策,为城市不同用户提供个性化的时空信息服务。

3)决策模拟与仿真。提供城市突发事件应急

响应的决策过程模拟与评估恢复可视化功能。应急响应决策过程模拟包括影像范围可视化和相关部门救灾动态模拟,为决策者提供真实的应急响应决策场景。评估恢复可视化包括经济损失评估可视化和影响人口评估可视化,可供用户查询突发事件解决后的相关信息。

2.3 系统应用

城市常见公共突发事件中,燃气泄漏存在爆炸、中毒、窒息等危险,可导致重大安全事故。本文以太原市燃气泄漏事件为例,验证系统在辅助智慧城市公共突发事件综合决策中的适用性。

1)信息资源准备。如图5所示,围绕燃气泄漏突发事件应急响应,建立传感器和模型资源目录,将建模完成后的元模型注册到注册中心,进行信息资源的集成化管理。

传感器准备(图5(a))是指通过建立的各种传感器元模型,接入实时观测数据,发布数据服务,如燃气浓度监测传感器、温湿度监测传感器、气象监测传感器等。

模型准备(图5(b))是指建立燃气泄漏事件涉及的地理空间模型目录,包括最短路径分析模型、缓冲区分析模型、叠置分析模型、燃气扩散模型等。

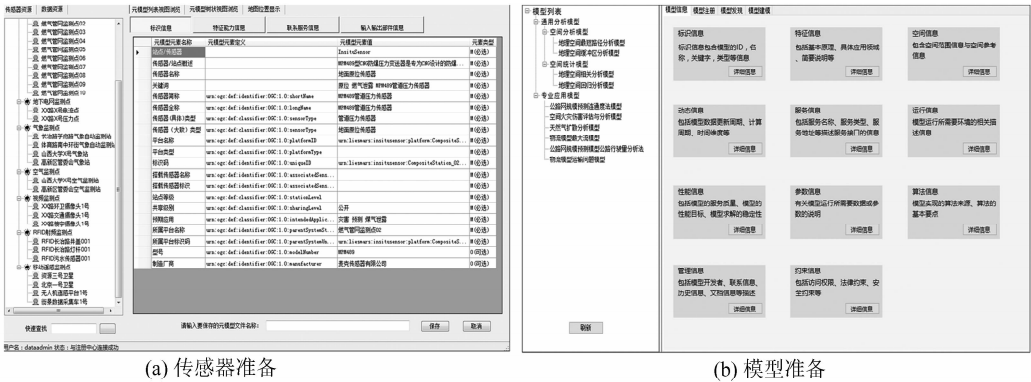


图5 燃气泄漏应急响应信息资源准备

Fig. 5 Information Resources Preparation for the Gas Leak Emergency Response

2)聚焦服务过程。如图6所示,通过决策时空信息聚焦服务,制定针对燃气泄漏事件的抽象决策过程链,形成相应聚焦服务方案,并注册到注册中心;实例化燃气泄漏事件决策过程链,关联具体决策分析、地理空间模型和GIS地理信息数据服务;执行服务链,发布并注册决策结果。

3)决策过程动态模拟。围绕事件的监测、告警、响应、评估这4个过程,提供不同阶段的决策服务。

(1)事件监测。可视化显示矢量数据、影像数据、地形数据在内的基础地理信息数据外,还可供用户实时监测燃气管道附近可燃气体浓度等动

态接入的传感器监测数据,如图7所示。

(2)事件告警。一旦监测到甲烷浓度异常,如甲烷浓度在5%~15.4%范围内时,立即根据燃气泄漏事件的严重程度发布告警信息,如图8所示。

(3)事件响应。根据事件的发生地点和严重程度,调用相应的地理空间模型进行计算并实时获取结果,完成相关部门应急决策响应过程指挥调度的动态可视化与仿真,如图9所示。

(4)事件评估。抢修结束后,解除应急状态,后期可进行人员伤亡和经济财产损失的统计,并确定影响范围进行公开上报。

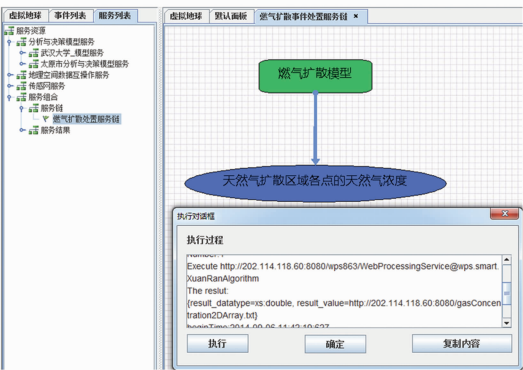


图 6 燃气泄漏事件驱动的聚焦服务过程
Fig. 6 Event-Driven Focusing Service Process for the Gas Leak Emergency Response

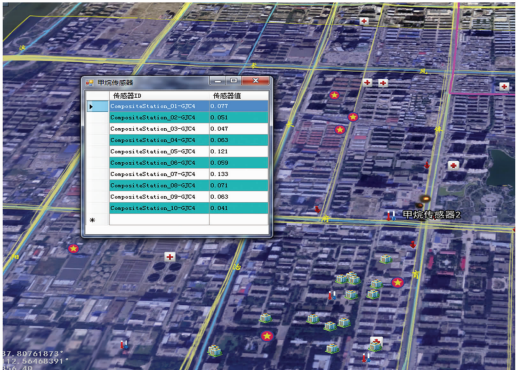


图 7 甲烷传感器实时监测
Fig. 7 Real-Time Monitoring of the Methane Sensors

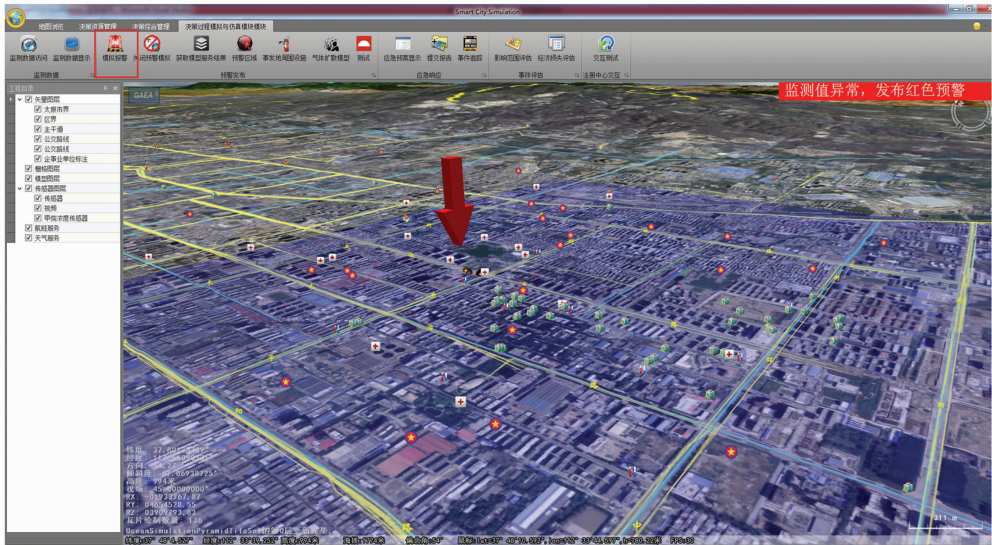


图 8 燃气泄漏事件告警
Fig. 8 Event Warning of the Gas Leak

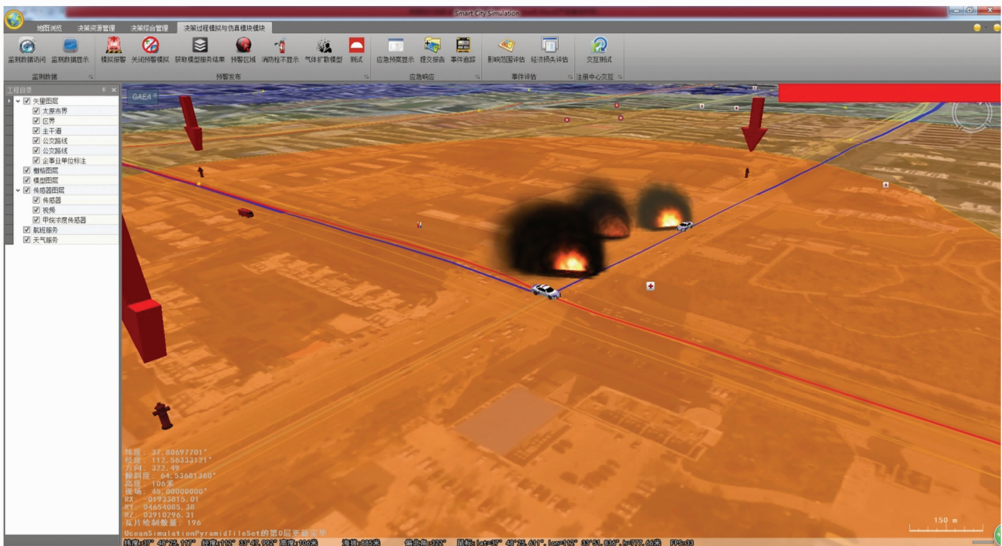


图 9 燃气泄漏事件响应
Fig. 9 Event Response of the Gas Leak

3 智慧城市时空信息综合感知与管理发展趋势

面对京津冀一体化、长江经济带、泛珠三角和“一带一路”等新型城镇化国家重大战略需求,需要在更大尺度和更大规模的城市群中开展智慧城市和智慧中国乃至智慧地球的建设研究^[12]。从空间信息的角度看,智慧城市时空信息综合感知与管理将从目前的信息综合管理,逐步发展为城市(群)状态和行为的挖掘、模拟和预测,乃至对整个城市(群)运行的控制和响应。概括起来,智慧城市时空信息综合感知与管理的主要发展趋势包含以下 3 点。

1)城市(群)立体感知网

据预测,2020 年前后,世界上会有 7 万亿个通过网络组织起来的传感器^[17],未来将对地观测卫星星座与通信卫星、导航卫星和飞机等空间节点通过动态组网,建立天基空间信息网络^[18]。届时,将面临如何在正确的时间、正确的地点将正确的信息传递给正确的人的 4R(Right)灵性服务^[19]。空天地集成化的城市(群)立体感知网可以提供解决思路,它是由具有感知、计算和通信能力的传感器网络与万维网结合而产生的用于城市(群)监测的集成观测网,通过一系列接口提供观测数据、空间信息和地学知识服务。

城市(群)立体感知网研究需要突破空天地传感器协同观测优化布局和多传感器规划调度等关键技术,建立空天地集成化的传感网感知基础设施和立体覆盖的城市数据获取运行环境,形成城市(群)立体感知网构建的技术体系和标准规范,为城市群生态环境和地理市情等综合监测与共享奠定基础。

2)城市(群)模型网

模型网是大量计算模型的动态网络,比单个模型解决更多科学问题,建模者和用户通过标准协议的网络服务,实现对模型和模型结果的访问与互操作^[20]。模型网是一个开放式系统,其中间过程和最终结果都可以通过网络服务进行访问,提高了模型的互操作能力和相关科学领域的预测能力,对解决城市群如区域交通规划等复杂问题十分重要。

但是,模型的固有特性(异构性和分散性)和人为特性(私有性),使其目前仍难以共享与互操作。模型网研究需要注重异质模型的开放性共享、网络环境下模型的综合协作认知和模型网的

不确定性等问题。

3)城市(群)时空大数据

城市时空大数据已经成为当前智慧城市的重要战略资源^[21]。随着城市计算和大数据研究的发展,如何基于数以 PB 级计量的动态实时观测大数据,快速提取城市事件和行为的格局和过程信息,科学分析其演化规律,并提供主动的位置智能服务,成为时空大数据城市实践过程中新的挑战 and 机遇。

城市(群)时空大数据研究需要突破时空大数据组织管理、分析、预测、决策、可视化和服务等智慧城市时空大数据共性关键技术,建立时空大数据的综合管理、协同分析与智能决策服务等标准规范,开发新一代适应大数据的 GIS 软件平台,为用户提供时空大数据的网络在线分析与多层次服务。

4 结 语

针对智慧城市时空信息综合决策过程中信息标准各异、模型资源多样、决策过程效率低下等问题,本文对感知联网时空信息与接入、地理空间模型联网与认知、决策时空信息聚焦服务等城市时空信息综合决策共性关键技术进行研究,突破了城市时空信息智能分析、协同决策与主动聚焦服务的瓶颈。同时,开发了智慧城市时空信息综合决策原型系统,并以太原市燃气泄漏应急响应为例,验证了系统辅助城市综合决策的可行性和适用性。本文最后探讨了智慧城市时空信息综合感知与管理的 3 个主要发展趋势:城市(群)立体感知网、城市(群)模型网和城市(群)时空大数据。下一步需要研究如何挖掘、模拟和预测城市状态和行为,以形成更多层次的协同决策、更主动的聚焦决策和更智能的综合决策。

参 考 文 献

[1] Li Deren. Towards Geo-spatial Information Science in Big Data Era [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2016, 45(4): 379-384(李德仁. 展望大数据时代的地球空间信息学[J]. 测绘学报, 2016, 45(4):379-384)

[2] Li Deren, Liu Laixing. Context-Aware Smart City Geospatial Web Service Composition[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(7): 853-860(李德仁, 柳来星. 上下文感知的智慧城市空间信息服务组合[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(7):853-860)

- [3] Li Deren, Yao Yuan, Shao Zhenfeng. Big Data in Smart City[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6): 631-640(李德仁, 姚远, 邵振峰. 智慧城市中的大数据[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(6):631-640)
- [4] Chen Nengcheng, Hu Chuli, Wang Xiaolei. Model and Method of Earth Observation Sensor Web Resource Management [M]. Beijing: Science Press, 2014(陈能成, 胡楚丽, 王晓蕾. 对地观测传感网资源集成管理的模型与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2014)
- [5] Wang Juanle, You Songcai, Xie Chuanjie. Analysis and Design of Metadata Standard Structure for Geosciences Data Sharing[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2005, 21(1): 16-19(王卷乐, 游松财, 谢传节. 地学数据共享中的元数据标准结构分析与设计[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(1):16-19)
- [6] Wang Jingyuan, Li Chao, Xiong Zhang, et al. Survey of Data-Centric Smart City[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2014, 51(2):239-259(王静远, 李超, 熊璋, 等. 以数据为中心的智慧城市研究综述[J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(2):239-259)
- [7] Goodchild M F. GIS and Modeling Overview[M]// GIS, Spatial Analysis, and Modeling. Redlands. CA: ESRI Press, 2005
- [8] Li Deren, Shao Zhenfeng, Yang Xiaomin. Theory and Practice from Digital City to Smart City[J]. *Geospatial Information*, 2011, 9(6): 1-5(李德仁, 邵振峰, 杨小敏. 从数字城市到智慧城市的理论与实践[J]. 地理空间信息, 2011, 9(6):1-5)
- [9] Wang Qiao, Wu Jitao. Research on Application Model and Management in GIS[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 1997, 26(3):280-283(王桥, 吴纪桃. GIS中的应用模型及其管理研究[J]. 测绘学报, 1997, 26(3):280-283)
- [10] Chen Nengcheng, Wang Xiaolei, Xiao Changjiang, et al. Model and System for Event-Driven Focusing Service of Information Resources in Smart City[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(12):1 633-1 638(陈能成, 王晓蕾, 肖长江, 等. 事件驱动的城市信息聚焦服务模式与系统[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(12):1 633-1 638)
- [11] Hu Chuli, Chen Nengcheng, Guan Qingfeng, et al. An Integration and Sharing Method for Heterogeneous Sensors Oriented to Emergency Response in Smart City[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2014, 51(2): 260-277(胡楚丽, 陈能成, 关庆锋, 等. 面向智慧城市应急响应的异构传感器集成共享方法[J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(2):260-277)
- [12] Chen Nengcheng, Wang Wei, Wang Chao, et al. Integrated Management for Smart City[M]. Beijing: Science Press, 2015(陈能成, 王伟, 王超, 等. 智慧城市综合管理[M]. 北京: 科学出版社, 2015)
- [13] Chen Nengcheng, Wang Xiaolei, Yang Xunliang. A Direct Registry Service Method for Sensors and Algorithms Based on the Process Model[J]. *Computers & Geosciences*, 2013, 56: 45-55
- [14] Bröring A, Echterhoff J, Jirka S, et al. New Generation Sensor Web Enablement[J]. *Sensors*, 2011, 11(3): 2 652-2 699
- [15] Wang Wei, Li Pengfei, Chen Nengcheng, et al. A Geospatial Decision Meta-Model for Heterogeneous Model Management: A Regional Transportation Planning Case Study [J]. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2016, 41(3): 1 077-1 090
- [16] The Governmental Markup Language. Public Service Model [OL]. <http://wapps.islab.uom.gr/govml/?q=node/4>, 2014
- [17] Uusitalo M A. Global Vision for the Future Wireless World from the WWRF[J]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2006, 1(2): 4-8
- [18] Li Deren, Wang Mi, Shen Xin, et al. From Earth Observation Satellite to Earth Observation Brain [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(2): 143-149(李德仁, 王密, 沈欣, 等. 从对地观测卫星到对地观测脑[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(2):143-149)
- [19] Chen Nengcheng, Chen Xu, Wang Ke, et al. Progress and Challenges in the Architecture and Service Pattern of Earth Observation Sensor Web for Digital Earth[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2014, 7(12): 935-951
- [20] Skøien J O, Schulz M, Dubois G, et al. A Model Web Approach to Modelling Climate Change in Biomes of Important Bird Areas[J]. *Ecological Informatics*, 2013, 14: 38-43
- [21] Li Qingquan. From Geomatics to Urban Informatics [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(1): 1-6(李清泉. 从 Geomatics 到 Urban Informatics[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(1):1-6)

Key Techniques and System for Comprehensive Decision-Making of Spatio-Temporal Information in Smart City

CHEN Nengcheng^{1,2} LIU Yingbing¹ SHENG Hao³ WANG Wei^{1,2}

- 1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University,
Wuhan 430079, China
- 2 Collaborative Innovation Center of Geospatial Technology, Wuhan 430079, China
- 3 School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract: How to achieve the unified integration of decentralized information resources, the effective invocation of complex model resources, and the efficient sharing and visualization of decision-making spatio-temporal information based on the integrated needs of government decision-making departments such as smart city operation management, construction planning, and emergency command, become the major challenges in the current development process of the urban comprehensive decision-making. Firstly, the key technologies for the urban comprehensive decision-making, such as perception net- working and spatio-temporal information access, geospatial model networking and cognition, and deci- sion spatio-temporal information focusing service are proposed, which breaks through the bottlenecks of urban space-time information intelligence analysis, collaborative decision-making and active-focus services. Then, a prototype system of comprehensive decision-making of spatio-temporal information in smart city is implemented. Taking the gas leak response of Taiyuan as an example, the feasibility and applicability of the system for urban comprehensive decision-making are verified. Finally, three main development trends are summarized, that is, urban (group) stereo perception web, urban (group) model web, and urban (group) space-time big data.

Key words: smart city; spatio-temporal information; comprehensive decision-making; perception web; model web; focusing service; emergency response; event-driven

First author: CHEN Nengcheng, PhD, professor, specializes in the theories and methods of Smart City, earth observation sensor Web, spatio-temporal big data and dynamic real-time WebGIS, and location-based smart applications. E-mail: cnc@whu.edu.cn

Foundation support: The National Key Research and Development Program of China, No. 2017YFB0503803; the Union Foundation of Ministry of Education of the People’s Republic of China, No. 6141A02022318; the Hubei Provincial Natural Science Foundation, No. 2016CFA003.