

DOI:10.13203/j.whugis.20200536



文章编号:1671-8860(2020)12-1829-07

面向智慧城市的GIS框架

郭仁忠^{1,2} 林浩嘉^{1,2} 贺彪² 赵志刚²

1 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

2 深圳大学智慧城市研究院,广东 深圳,518060

摘要:物理空间和社会空间共同构成人类社会的二元空间。随着信息通信技术的迅速发展与普及应用,信息空间成长为第三空间,并与物理空间和社会空间共同构成人类社会的三元空间。智慧城市是三元空间条件下城市的智慧化转型,基本工程逻辑是建立城市物理空间和社会空间到信息空间的映射,再通过信息空间回馈物理空间和社会空间,进而优化城市系统,解决城市问题。地理信息系统(geographic information system, GIS)是以空间视角刻画和表达物理空间和社会空间的技术科学,通过GIS建立三元空间的关联,将是智慧城市建设的逻辑基础。分析了面向智慧城市的GIS在数字化、可视化、智能化和开放式开发框架等方面的技术需求,提出了面向智慧城市的GIS框架,探讨了需要重点聚焦的统一数据平台构建、数字孪生及可视化、双向同步的空间智能、开放式平台服务等关键研究内容。

关键词:GIS;智慧城市;三元空间;空间智能

中图分类号:P208

文献标志码:A

随着信息与通信技术(information and communications technology, ICT)的快速发展,人类社会从二元空间进入到三元空间。第一元空间指“物理空间”,即人类赖以生存的自然环境和所含的物质系统;第二元空间指“社会空间”,即人类行为与社会活动的总和;第三元空间指“信息空间”,其构建于物理空间和社会空间之上,即计算机、互联网及其数据信息。

三元空间之间的相互影响促进了城市的发展^[1],形成新的城市范式,这个范式就是智慧城市,可以认为是三元空间条件下的城市智慧化转型。建立城市物理空间和社会空间到信息空间的映射,再通过信息空间回馈物理空间和社会空间,进而优化城市系统,解决城市问题,这是智慧城市建设的基本工程逻辑。

智慧城市的概念在20世纪90年代开始出现^[2],在ICT的驱动下,越来越受到关注,并上升到国家战略层面。美国、日本、新加坡等发达国家先后提出了智慧城市相关发展计划^[3-8],中国也随后制定了相应计划^[9]。如何走向智慧城市是当前城市发展面临的重要研究问题。但由于智慧

城市是城市三元空间的耦合,是开放的复杂巨系统^[10],不同领域、不同行业、不同专家对智慧城市有不同的理解,导致其概念层出不穷,建设路径也呈现多样化^[11-16]。然而,正由于智慧城市是城市三元空间的耦合,因此只有将城市物理空间中的实体和各实体于社会空间中的活动在信息空间中进行刻画,建立三元空间的关联,才能通过信息空间发现问题、分析问题和提出解决问题的方案,指导物理空间和社会空间的发展,进而实现城市的智慧化转型。

地图是对物理空间信息进行可视化表达和传输的方式,其贯穿整个人类文明史^[17],被认为是改变世界的十大地理思想方法之一^[18]。地理信息系统(geographic information system, GIS)发源于地图又脱胎于地图,其具有其他信息系统所不具备的空间性^[19]。GIS利用计算机对物理空间的实体进行抽象,通过数字投影以数字方式将物理空间映射到信息空间。经过几十年的发展,面向人类社会的不同业务需求,逐步衍生出多种子系统,如资源信息系统、环境信息系统、土地信息系统、地籍信息系统等。纵观各种子系统,可以

收稿日期:2020-11-27

项目资助:国家自然科学基金(41930104)。

第一作者:郭仁忠,博士,教授,中国工程院院士,欧亚科学院院士,主要从事地理信息与智慧城市、国土资源信息等研究。guorz@szu.edu.cn

通讯作者:林浩嘉,博士生。linhaojia@whu.edu.cn

发现GIS是在计算机软硬件支持下,对空间实体的位置信息及相关属性数据进行采集、存储、管理,并通过检索与分析,辅助人们实现社会空间的各种业务,即在物理空间到信息空间映射的基础上,实现社会空间到信息空间的映射。因此,GIS可以用来建立城市三元空间的关联,将会是智慧城市的基础。但是,面向智慧城市建设的多元化需求,当前GIS尚不能完全胜任,仍存在诸多挑战,需要进一步发展。

基于此,本文提出面向智慧城市的GIS框架。首先,从数字化、可视化、智能化、开放式4个方面论述智慧城市对GIS的需求变化;其次,剖析面向智慧城市的GIS框架,其核心在于向下屏蔽复杂异构数据,向上赋能开放多元应用;最后,探讨面向智慧城市的GIS的关键研究内容。

1 面向智慧城市的需求

智慧城市是开放的复杂巨系统,具有复杂的数据和业务,但智慧城市是若干个信息系统的集成而非集合,是体系化的信息系统生态,各个系统基于共同的设施和数据资源,具有大量的共性化操作。GIS主要围绕数字化、可视化、智能化和开放式开发框架4个方面进行发展,面向智慧城市对GIS的发展上提出了更高的要求。

1.1 数字化

数字化是智慧城市的基础^[20-21],在从数字城市到智慧城市的发展历程中,诸多学者在数据感知获取、数据平台建设、数据与信息等方面进行研究^[22-24]。智慧城市是体系化的信息系统生态,其各个系统基于共同的设施和数据资源,具有大量的共性化操作。当前的GIS大多是面向具体业务进行开发实施,难以保证对城市空间的同一刻画。因此,面向智慧城市的GIS要实现传感互联与数据集成融合,需要有统一的数据标准和规范及统一的数据平台,其关键在于数据标准和规范如何统一,数据平台如何构建。

1.2 可视化

可视化是辅助人类发现数据隐含规律和传递复杂信息的有效途径^[25],也是智慧城市提供各种智慧服务的重要环节。在从二维可视化到三维可视化再到数字孪生的发展历程中,研究主要围绕不同类型的数据在不同尺度下和面向不同业务需求的可视化^[26-30]。城市管理逐渐趋向精细化,需要满足对不同尺度城市实体的管理。此外,智慧城市的服务对象不仅仅是专业人员,还

包括普通大众,需要降低大众的使用门槛。因此,面向智慧城市的GIS需要实现跨尺度的全空间高逼真三维可视化,其关键在于如何实现宏观大场景与局部精细模型的高逼真无缝可视化。

1.3 智能化

智能化是智慧城市的核心价值所在,人工智能(artificial intelligence, AI)的进步为智慧城市的发展带来了新机遇和新挑战^[31]。智慧城市的核心在于通过信息空间发现问题、分析问题和提出解决问题的方案,使城市运营的效率更高,成本更低。空间分析和仿真模拟是GIS的核心,近年来,GIS与AI的结合进一步提升了GIS在这两方面的能力^[32-33]。但是,仅具备空间分析和仿真模拟的能力是不足以支撑智慧城市的高效实时运转,还需要在此基础上实现对现实空间的自动化决策控制。因此面向智慧城市的GIS需要具备可计算分析、可仿真模拟、可决策控制的智能化,其关键在于如何实现城市现实空间和信息空间的双向同步。

1.4 开放式

基于统一数据平台的开放式开发框架是智慧城市应用开发的高级模式。智慧城市是体系化的信息系统生态,不仅仅是当前已有城市管理业务的集成,还包括多种未知的应用需求。当前已有的城市管理业务中,存在不同业务对同一数据的共性化操作,但不同业务系统的数据尚未实现统一维护,不同系统开发中存在大量重复性工作。此外,在未来的多种未知需求中,同一数据的共性化操作将更加频繁,需避免出现更多的重复性工作。因此,面向智慧城市的GIS需要实现基于统一数据平台的开放式二次开发框架。

2 总体框架

智慧城市是三元空间条件下的城市智慧化转型,其建设的基本工程逻辑如图1所示。首先,通过建立城市物理空间和社会空间到信息空间的映射,将城市基础时空信息和城市管理对象等要素进行采集,转换为可供计算机存储、处理、分析与应用的数据。然后,在信息空间中通过信息融合对城市物理空间和社会空间进行建模与表达,进而发现问题、分析问题和提出解决问题的方案。最后,在信息空间中通过智慧城市操作系统提供各类智慧应用,回馈物理空间和社会空间,优化城市系统,解决城市问题。

面向智慧城市的GIS是将城市三元空间有

机结合的智慧城市操作系统,其基于上述智慧城市
建设基本工程逻辑,将城市物理空间和社会空
间映射到信息空间,并在信息空间中将城市多源
数据集成融合和高效处理,建立城市统一数据平
台。在城市统一数据平台的基础上,通过可视化
技术、空间智能技术和开放式开发框架,为城市
运营管理的各项业务提供应用开发环境。面向
智慧城市的 GIS 可以实现城市信息的实时获取、
高效处理和快速响应,促进城市信息大范围、全
方位、深层次的智能化应用,满足发现问题、分析
问题和解决问题的需求,实现城市的智慧化运营。
简而言之,面向智慧城市的 GIS 的内涵是向
下屏蔽复杂异构数据,向上赋能开放多元应用。

面向智慧城市的 GIS 框架如图 2 所示。首
先,依托城市泛在立体感知网络,对城市物理空
间的实体和社会空间的人类活动进行动态实时
感知和监测,获取城市现实空间的实时数据。其

次,通过统一数据平台将复杂异构的城市时空大
数据进行融合;通过可视化技术将城市不同尺度
的实体在信息空间中进行数字孪生重建;通过空
间智能技术对城市运营进行实时监测、分析、模
拟、决策、设计和控制;通过开放式开发框架提供
面向城市各项业务的二次开发环境,避免不同业
务之间共性化操作的重复性开发工作,并保证数
据的统一维护。最后,通过面向不同业务的应用,
依托城市物联网络,实现对城市运营的自动
化高效控制,提升城市的运营效率。

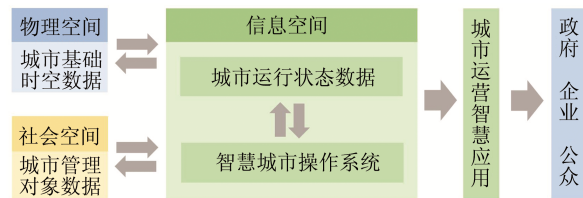


图 1 智慧城市基本工程逻辑

Fig.1 Basic Engineering Logic of Smart City Construction

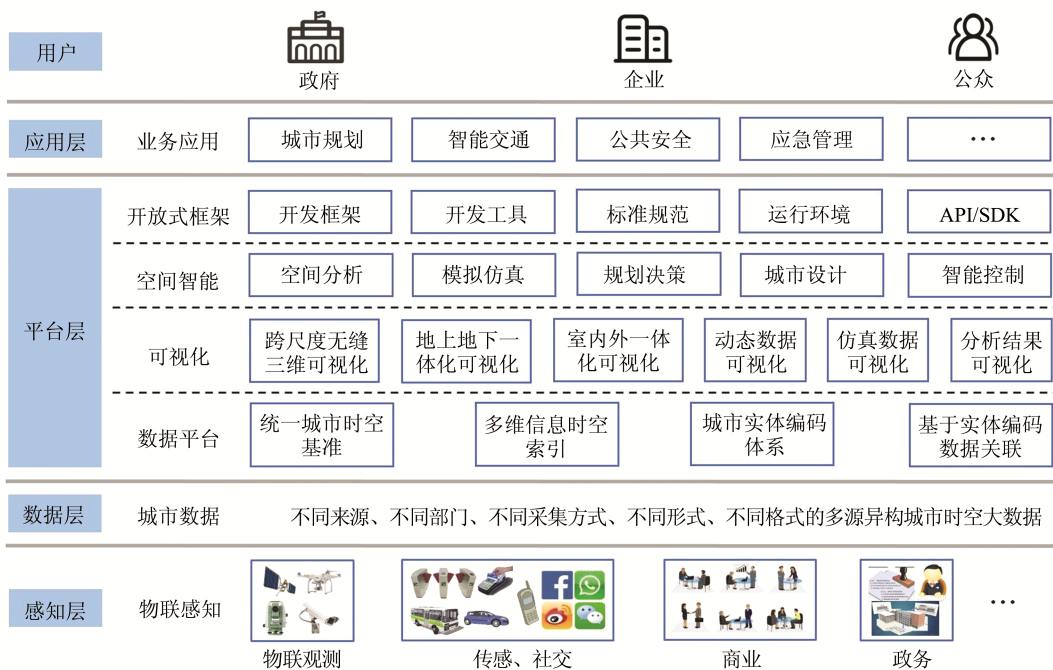


图 2 面向智慧城市的 GIS 框架

Fig.2 GIS Framework for Smart Cities

3 关键研究内容

表 1 是截至 2020-11-25 在 Web of Science 中
以智慧城市为主题检索出的论文相关研究方向
分布(总计 19 443 篇,以 Web of Science 研究方
向分类为统计依据),可以看出智慧城市是多学科
交叉的研究领域。而面向智慧城市的 GIS 涉及
物联网、数据库、云计算、人工智能、计算机图形

学、计算机操作系统等多项技术,是前沿 IT 技术
的融合。本文将面向智慧城市的 GIS 归纳为:统
一数据平台构建、数字孪生及可视化、双向同步
的空间智能、开放式平台服务。

3.1 统一数据平台构建

智慧城市统一数据平台将城市不同来源、不
同部门、不同采集方式、不同形式、不同格式的多
源异构城市时空大数据进行逻辑上的汇聚,并进

行关联融合,主要分为3大类数据:基础时空地理数据、城市管理对象数据和城市感知数据。各类数据具有不同的特征,需要针对各类数据的具体特征采用针对性的方式进行管理。

表1 智慧城市论文相关研究方向分布

Tab.1 Research Areas Distribution of Papers on Smart Cities

研究方向	论文篇数	占总数百分比
计算机科学	8 628	44.38
工程技术	7 882	40.54
通信技术	3 556	18.29
自然科学总论	1 509	7.76
环境科学与生态学	1 277	6.57
交通运输	1 155	5.94
能源燃料	1 091	5.61
城市研究	1 001	5.15
商业经济	931	4.79
公共管理	688	3.54
自动化及控制系统	635	3.27
仪器仪表	571	2.94
化学	515	2.65
结构与建筑技术	478	2.46
地理学	464	2.39

城市基础时空地理数据主要包括二维矢栅数据及三维模型数据等,是智慧城市的数字底板,对其实现高效的管理尤为重要。相比传统GIS空间数据,城市基础时空地理数据在空间数据的丰富性上呈现由单一化向多元化的发展,对于数据信息的关注也从空间属性扩展到时间属性与空间属性相结合的时空数据概念,具有数据海量、要素类型多元化、结构精细化的特征,传统的文件数据管理模式已远远不能适应数据带来的挑战。因此需要合适的技术和管理策略来建设城市时空数据库,构建统一的城市时空基准和全空间的多维地理数据时空索引,实现海量异构时空数据的高效管理、访问、查询、回溯与更新。

城市管理对象数据主要包括“地楼房权人”“城市交通”“城市部件”等基本要素数据,这些数据来源于多个部门管理的数据库,同一类型的数据在各数据库之间缺少基本的关联性,且缺少统一的数据规范标准,在数据的分类、编码、表现形式上存在多而不同的现象,不利于数据整合统计。因此,需要在城市基础时空地理数据的基础上构建统一的城市实体编码体系,并基于实体编码建立不同数据库同一要素的关联匹配,实现多维空间信息的高效索引。

城市感知数据主要包括互联网数据、物联网数据、传感网数据和通讯网数据等,覆盖城市生活的方方面面,涉及不同领域、不同类型和格式的表现形式成为信息化数据中极具挖掘意义的数据之一。城市感知数据具有数据量大、数据来源广泛、数据结构复杂等特点,当前尚未有对此类数据进行有效管理的方法,但此类数据通常都有时间属性和空间属性,如何在城市基础时空地理数据的基础上,基于其时空属性进行高效的关联融合和高效管理,是进一步提升此类数据挖掘价值的重要研究内容。

3.2 数字孪生及可视化

城市基础时空地理数据是智慧城市的数字底板,是现实空间中的城市环境在信息空间中的数字孪生重建。如何在信息空间中对复杂城市环境进行全面透彻的高逼真可视化表达是其中的关键研究内容。要实现这一需求,一方面需要在信息空间建立与现实世界一致的三维立体空间框架,实现对整个城市三维立体空间的统一描述。另一方面要集成融合建筑、交通、水系、植被、管线、场地、地质、城市部件等多类要素的三维数据,在三维模型一体化显示环境中进行直观形象的可视化表达,实现城市多尺度表达的全空间可视化。

具体研究内容包括:①三维复杂模型自动简化:实现大规模地形和复杂地物的自动简化,以保证城市三维场景的加载效率和存储的优化利用。②全空间三维信息可视化:构建全空间三维场景一体可视化能力,保证不同场景下三维模型切换的流畅性,实现虚拟城市环境数据在不同场景中的无缝可视化。③以用户为中心的自适应可视化:满足以用户为中心的可视化裁剪,保证用户视角内场景模型的加载效率,减少非视角范围内的模型加载对存储和渲染资源的占用,保证大规模三维场景实时可视化调度,实现并行可视化。④物理环境仿真可视化:面向城市环境高逼真可视化表达需求,实现对城市环境中大气、天气、光照、阴影、流水等自然环境和反射、散射、折射、衍射等物理现象的高逼真渲染与可视化。包括场景环境全局光照技术、粒子特效渲染技术、雾特效渲染技术、三维模型材质纹理光照反射渲染技术、渲染后处理技术等方面的三维场景可视化表达技术,实现不同专题风格、真实物理环境的三维场景动态仿真可视化。

3.3 双向同步的空间智能

空间智能是面向智慧城市的 GIS 智能化水平的关键,只有空间智能得到提升,才能更好地通过信息空间发现问题、分析问题和解决问题,提高城市运营效率。在面向智慧城市的 GIS 中,空间智能主要表现在空间分析、仿真模拟、规划决策、城市设计、智能控制等方面。其中,空间分析、仿真模拟、规划决策、城市设计均只需城市现实空间至信息空间的单向同步,在信息空间中基于现实空间的数据进行分析、模拟、决策、设计。而智能控制需要城市现实空间与信息空间的双向同步,在信息空间中基于现实空间的数据进行分析、模拟、决策、设计后将结果实时反馈至现实空间,并改变现实空间实体的状态。双向同步的空间智能可以实现对现实空间的自动化决策控制,提高城市运营效率,主要研究内容如下。

1) GIS 与 AI 的结合。通过 AI 提升 GIS 在空间分析、仿真模拟、规划决策、城市设计上的能力。更重要的是,由于空间异质性,面向同一任务的 AI 模型并不适用于不同的时空,在通用人工智能到来之前,如何针对 GIS 功能的特性,基于 AI 的自适应学习和迁移学习,实现模型快速构建技术框架尤为重要。

2) 基于位置的智能控制。对现实中涉及位置移动和状态更新的可移动机器的智能控制,如对智能机器人、自动驾驶汽车、无人机等的控制,不仅要实现局部环境下机器的自我控制,还要实现信息空间中机器的位置调度和控制接管。

3) 组网式智能控制。对现实世界中固定机器网络的状态控制,如交通信号灯网络、道路照明系统网络等。一方面要研究选址布设的最优方案,寻找最优布设位置、最佳数量和最优网络结构,另一方面要研究基于网络结构的全局最优控制,使网络控制整体运行成本最低、控制效率最高、对现实城市空间的作用效果最好。

3.4 开放式平台服务

面向智慧城市的 GIS 本质是基于统一数据平台的开放式二次开发框架,为各类型的用户群体提供优质的服务与良好的用户体验。开放式平台服务的关键在于构建开放式的服务模式,不仅提供标准的数据资源服务,还能满足多种基本应用服务需求。此外,平台开放式服务应该是可拓展、可定制的,能够让用户充分发挥自己的优势与兴趣去基于平台建立自己的应用,这就要求平台具备灵活的应用开发框架,充分满足定制化

的应用需求。具体研究内容包括:①时空数据资源服务,包括资源目录服务、地图服务、三维场景服务、时空数据服务、城市管理对象数据服务等;②应用功能服务,包括地名地址服务、业务流服务、知识服务等;③应用开发框架服务,包括规范标准、开发工具、接口服务、计算存储服务。

4 结语

智慧城市是三元空间条件下城市的智慧化转型,基本工程逻辑是建立城市物理空间和社会空间到信息空间的映射,通过信息空间发现问题、分析问题,提出解决方案,再回馈至物理和社会空间,进而解决城市问题。GIS 是以空间视角刻画和表达物理和社会空间的技术科学,可以建立城市三元空间的关联,面向智慧城市的 GIS 将是走向智慧城市的可行路径。同时,面向智慧城市对 GIS 在数字化、可视化、智能化、开放式 4 个方面提出了更高的要求,需要进一步从统一数据平台构建、数字孪生及可视化、双向同步的空间智能、开放式平台服务等方面进行深入研究,才能在智慧城市发展的道路上贡献 GIS 的力量。

参 考 文 献

- [1] Lin Haojia, Guo Renzhong. The Characteristics and Coupling Relationship of Urban Ternary Space Development: A Case Study of Guangdong Province [J]. *Geomatics World*, 2019, 26(4): 28-37(林浩嘉, 郭仁忠. 城市三元空间发展水平的特征及耦合关系研究——以广东省为例[J]. 地理信息世界, 2019, 26(4):28-37)
- [2] Gibson D V, Kozmetsky G, Smilor R W. The Technopolis Phenomenon: Smart Cities, Fast Systems, Global Networks [M]. Maryland: Rowman & Littlefield, 1992
- [3] Mahizhnan A. Smart Cities: The Singapore Case [J]. *Cities*, 1999, 16(1):13-18
- [4] Caragliu A, Del Bo C, Nijkamp P. Smart Cities in Europe [J]. *Urban Insight*, 2011, 18(2):65-82
- [5] Clarisse P. Smart Cities in Japan: An Assessment on the Potential for EU-Japan Cooperation and Business Development [M]. Tokyo: EU-Japan Centre for Industrial Cooperation, 2014
- [6] Ng P T. Embracing Emerging Technologies: The Case of the Singapore Intelligent Nation 2015 Vision [M]//Ordóñez de P P, Lee W B, Zhao J. Regional Innovation Systems and Sustainable Development: Emerging Technologies. Pennsylvania: IGI Global,

- 2011
- [7] Paskaleva K A. Enabling the Smart Cities: The Progress of City E-Governance in Europe [J]. *International Journal of Innovation and Regional Development*, 2009, 1(4):405-422
- [8] Bronstein Z. Industry and the Smart Cities [J]. *Dissent*, 2009, 56(3):27-34
- [9] Liu P, Peng Z. China's Smart Cities Pilots: A Progress Report [J]. *Computer*, 2013, 47(10):72-81
- [10] Qian Xuesen, Yu Jingyuan, Dai Ruwei. A New Field of Science: Open Complex Giant System and Its Methodology [J]. *Chinese Journal of Nature*, 1990, 13(1): 3-10(钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论 [J]. 自然杂志, 1990, 13(1):3-10)
- [11] Albino V, Berardi U, Dangelico R M. Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives [J]. *Journal of Urban Technology*, 2015, 22(1): 3-21
- [12] Ruhlandt R W S. The Governance of Smart Cities: A Systematic Literature Review [J]. *Cities*, 2018, 81:1-23
- [13] Zanella A, Bui N, Castellani A, et al. Internet of Things for Smart Cities [J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2014, 1(1):22-32
- [14] 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)
- [15] Wang Jiayao, Deng Guochen. Smart City in Big Data Era [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2014, 39(5):3-7(王家耀, 邓国臣. 大数据时代的智慧城市 [J]. 测绘科学, 2014, 39(5):3-7)
- [16] Wang Jingyuan, Li Chao, Xiong Zhang, et al. Survey of Data-Centric Smart City [J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2014(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(2): 239-259)
- [17] Guo Renzhong, Ying Shen. The Rejuvenation of Cartography in ICT Era [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10):1 274-1 283(郭仁忠, 应申. 论 ICT 时代的地图学复兴 [J]. 测绘学报, 2017, 46(10):1 274-1 283)
- [18] Woods C, Teeter E, Emberling G. Visible Language: Inventions of Writing in the Ancient Middle East and Beyond [M]. Chicago: Oriental Institute of the University of Chicago, 2010
- [19] Chen Shupeng. Geo-System and Geo-Information System [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1991, 58(1): 1-7(陈述彭. 地理系统与地理信息系统 [J]. 地理学报, 1991, 58(1): 1-7)
- [20] Gong Jianya, Wang Guoliang. From Digital City to Smart City: New Challenges to Geographic Information Technology [J]. *Journal of Geomatics*, 2013, 38(2):1-6(龚健雅, 王国良. 从数字城市到智慧城市: 地理信息技术面临的新挑战 [J]. 测绘地理信息, 2013, 38(2):1-6)
- [21] Li Deren, Gong Jianya, Shao Zhenfeng. From Digital Earth to Smart Earth [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(2): 127-132(李德仁, 龚健雅, 邵振峰. 从数字地球到智慧地球 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(2):127-132)
- [22] Cocchia A. Smart and Digital City: A Systematic Literature Review [M] // Dameri R P, Rosenthal-Sabroux C. Smart City: How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space. Switzerland: Springer, 2014:13-43
- [23] Dameri R P, Cocchia A. Smart City and Digital City: Twenty Years of Terminology Evolution [C]. Conference of the Italian Chapter of AIS, Milan, 2013
- [24] Zhu Qing, Li Hankan, Zeng Haowei, et al. Classification and Coding of Entity Features for Digital Twin Sichuan-Tibet Railway [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(9):1 319-1 327(朱庆, 李函侃, 曾浩炜, 等. 面向数字孪生川藏铁路的实体要素分类与编码研究 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(9):1 319-1 327)
- [25] Guo Renzhong, Chen Yebin, Ying Shen, et al. Geographic Visualization of Pan-Map with the Context of Ternary Spaces [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(11): 1 603-1 610(郭仁忠, 陈业滨, 应申, 等. 三元空间下的泛地图可视化维度 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(11):1 603-1 610)
- [26] Kang Zhizhong, Zhang Zuxun, Zhang Jianqing. Rapidly Realizing 3D Visualization for Street Sight in Cyber City [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(2): 205-208(康志忠, 张祖勋, 张剑清. 城市街道景观三维可视化的快速实现 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(2): 205-208)
- [27] Ying Shen, Chen Naibin, Li Weiyang, et al. Visualization Methods for the Coherent Set of 3D Building Property Units [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(1):81-88(应申, 陈乃滨, 李威阳, 等. 三维房产群集对象可视化方法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(1):81-88)
- [28] Xu B, Lin H, Chiu L, et al. Collaborative Virtual Geographic Environments: A Case Study of Air Pol-

- lution Simulation [J]. *Information Sciences*, 2011, 181(11):2 231-2 246
- [29] Zhu Qing. Full Three-Dimensional GIS and Its Key Roles in Smart City[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2014, 16(2):151-157(朱庆. 三维 GIS 及其在智慧城市中的应用[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(2):151-157)
- [30] Dembski F, Uwe W, Letzgus M, et al. Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany [J]. *Sustainability*, 2020, 12(6):2 307
- [31] Batty M. Artificial Intelligence and Smart Cities[J]. *Environment & Planning B Urban Analytics & City Science*, 2018, 45(1):3-6
- [32] Su Fenzhen, Wu Wenzhou, Zhang Yu, et al. From Geographic Information System to Intelligent Geographic System [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2020, 22(1):2-10(苏奋振, 吴文周, 张宇, 等. 从地理信息系统到智能地理系统[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(1):2-10)
- [33] Janowicz K, Gao S, Mckenzie G, et al. GeoAI: Spatially Explicit Artificial Intelligence Techniques for Geographic Knowledge Discovery and Beyond [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2020, 34(4):625-636

GIS Framework for Smart Cities

GUO Renzhong^{1,2} LIN Haojia^{1,2} HE Biao² ZHAO Zhigang²

1 School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Research Institute for Smart Cities, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China

Abstract: Physical space and social space constitute the dual space of human society. With the rapid development and popularization of information and communication technology (ICT), information space has grown into the third space, which constitutes the ternary space of human society together with physical space and social space. Smart cities are the intelligent transformation of cities under the condition of ternary space. Its basic engineering logic is to establish the mapping from physical space and social space to information space, and then feedback physical space and social space through information space to optimize the urban system and solve the urban problems. Geographic information system (GIS) is a technical science that depicts and expresses physical space and social space from the perspective of space. Establishing the intrinsic relationship of ternary space through GIS will be the logical basis for the construction of smart cities. Firstly, the GIS technology requirements of smart cities is analyzed from four aspects: Digitization, intelligence, visualization and openness. Then, a GIS framework for smart cities is proposed, the core of which is shielding complex heterogeneous data downwards and enabling diverse applications upwards. Finally, the key research contents that need to be focused on is discussed, including unified urban data platform construction, digital twins and visualization, two-way synchronized spatial intelligence, and open platform services.

Key words: GIS; smart cities; ternary space; spatial intelligence

First author: GUO Renzhong, PhD, professor, Academician of the Chinese Academy of Engineering, Academician of Euro-Asia International Academy of Science, specializes in GIS and smart cities, natural resource information management. E-mail: guorz@szu.edu.cn

Corresponding author: LIN Haojia, PhD candidate. E-mail: linhaojia@whu.end.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China (41930104).

引文格式: GUO Renzhong, LIN Haojia, HE Biao, et al. GIS Framework for Smart Cities[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(12):1829-1835. DOI:10.13203/j.whugis20200536(郭仁忠, 林浩嘉, 贺彪, 等. 面向智慧城市的 GIS 框架[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(12):1829-1835. DOI:10.13203/j.whugis20200536)