

虚拟地理环境下的地理空间认知初步探索

刘浩, 薛梅

1. 重庆市勘测院, 重庆 401121;
2. 智慧城市时空大数据重庆市工程研究中心, 重庆 401121;
3. 智能城市空间(CIM+)技术创新中心, 重庆 401121

摘要: 地理空间认知是人类获取地理空间知识、认知地理环境的重要方法和手段, 虚拟地理环境 VGEs (Virtual Geographic Environments) 作为继地图和地理信息系统 (GIS) 之后的新一代地理分析工具, 在地理空间认知方面具有显著优势, 但目前相关研究尚处于概念探讨和框架搭建阶段, 缺乏对地理空间认知内涵及相关技术方法的论述和研究。本文以经典的地理学6问题求解为导向, 从地理本体认知、地理过程认知和地理行为认知3个层次, 阐述了VGEs地理空间认知的内涵和主要内容; 进一步重点探讨了实现VGEs地理空间认知的相关技术方法, 包括城市空间表达与城市计算、多模式人机交互、地理知识图谱与空间推理、地理过程模拟、地理行为模式识别与情感计算等方面。以重庆为例开展了应用案例实践, 展示了如何利用相关技术方法实现对地理环境和地理空间对象的认知和理解。本文提出的总体框架和技术体系为VGEs地理空间认知的深入开展和技术实现提供了新的思路和解决方案, 有助于将该项工作从理论探讨阶段推向技术实现阶段。

关键词: 虚拟地理环境, 地理空间认知, 认知基本内容, 认知技术方法, 结构化语义建模, 城市计算, 地理知识图谱, 行为模式识别

引用格式: 刘浩, 薛梅. 2021. 虚拟地理环境下的地理空间认知初步探索. 遥感学报, 25(10): 2027-2039

Liu H and Xue M. 2021. Exploring the use of virtual geographic environments for geo-spatial cognition research. National Remote Sensing Bulletin, 25(10): 2027-2039 [DOI: 10.11834/jrs.20210460]

1 引言

地理空间认知是将认知科学引入地理信息科学, 从而帮助人们理解和认识地理环境。从认知心理学讲, 地理空间认知是人类对地理空间事物的感知、成像、记忆和思维的一系列心理过程 (林琨等, 2020)。借助地理空间认知人们可以获得地理空间知识, 进而探寻地理规律和解决地理问题。长期以来, 地理空间认知主要基于地图和GIS开展, 也取得了许多成果 (陈毓芬, 2001; 万刚等, 2008), 但人们逐渐意识到地图和GIS在地理空间表达、地理过程理解、人机交互感知等方面存在较多不足, 致使人们认知理解地理空间的难度较大。随着新一代地理分析工具——虚拟地理环境 VGEs (Virtual Geographic Environments) 的

发展, 人们很快意识到, 更加符合人类认知习惯的VGEs将极有可能成为开展地理空间认知的重要新型工具 (林琨和朱庆, 2005)。

虚拟地理环境 (VGEs) 是通过集成虚拟环境和地理学来研究现实地理环境的现象与规律 (林琨和龚建华, 2002)。由美国前副总统戈尔于1998年提出的“数字地球”, 可以说是VGEs的早期代表, “数字地球”是一个以地理坐标为参考, 集成有关地球的多维、多分辨率、海量、动态数据的虚拟地球系统 (郭华东和杨崇俊, 1999; 郭华东, 2009), 能够实现对真实地球及其相关现象的数字化重现, 以数字化手段处理地球的自然和社会活动诸方面问题。经过20年的蓬勃发展, 当前的VGEs已经能够为复杂地理系统研究提供一个集成化虚拟地理实验环境与工作空间 (Lin等, 2013;

收稿日期: 2020-10-26; 预印本: 2021-05-24

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2018YFB0505400); 自然资源部国土卫星遥感应用重点实验室经费资助项目 (编号: KLSMNR-202005); 住房和城乡建设部研究开发项目 (编号: 2020-K-011)

第一作者简介: 刘浩, 1985年生, 男, 副研究员, 研究方向为遥感应用、虚拟地理环境、地理知识工程等理论 and 应用。E-mail: 379337648@qq.com

Torrens, 2015; 张帆等, 2018; 林琿等, 2020), 借由计算机生成的数字化地理环境, 逼真再现真实地理环境, 并以多维多模态表达、实时感知信息接入、时空建模与模拟、多通道人机交互等手段, 实现对地理环境和地理空间对象的感知和理解(林琿等, 2010, 2018)。

基于VGEs的地理空间认知探索作为地理信息科学研究的重要新方向之一, 近年来一直处于比较活跃的研究状态。林琿和朱庆(2005)较早提出VGEs作为继GIS之后的新一代地理学语言, 将可能成为大众习以为常的地理空间认知工具; 刘芳等(2009)分析了VGEs对地理空间认知方式的影响, 指出VGEs的多感知通道拓展了人的空间认知手段, 极大提高了人的空间认知能力; 林琿等(2010)首次提出了VGEs地理空间认知的三层次框架, 即地理相似性认知、地理过程认知和地理行为认知, 为后续相关研究起到重要的指导作用; 贾奋励等(2015)提出以系统论的角度开展VGEs空间认知的研究, 并从相似性的视角建立了初步的VGEs认知研究框架; 张帆等(2018)提出了大数据背景下的虚拟地理认知实验框架, 结合人类活动行为大数据探索了在VGEs中分析人类行为与地理空间的相互作用机理; 江南等(2017)探索了全空间信息系统(周成虎, 2015)(一种现代的虚拟地理环境)的空间认知特点和表征形式, 指出全空间信息系统的目标是赋予计算机感知和认知空间对象的能力, 从而全方位获取研究对象的信息。总体而言, 关于VGEs地理空间认知的研究尚处于起步阶段, 大多集中于概念、认知特点以及初步框架等方面的探讨, 而对于VGEs地理空间认知的内涵以及涉及的相关技术方法则论述较少。

鉴于此, 本文在林琿等(2020)提出的三层次认知框架基础上, 结合项目组在虚拟地理环境方向的研究成果, 进一步深入探讨了VGEs地理空间认知的基本内涵和技术方法, 旨在加深对VGEs地理空间认知的理解, 为VGEs地理空间认知的深入开展和技术实现提供思路。

2 基于VGEs的地理空间认知

2.1 VGEs地理空间认知的特点

2.1.1 VGEs可实现身临其境的感知

VGEs所构建的类似现实的三维空间, 支持用

户以视觉、听觉、触觉等类似于现实生活中的感知方式对地理场景、地理空间对象进行感知。实景三维建模(马红, 2019)、虚实融合(刘华俊和李黎, 2020)、沉浸式感知(陆驰豪等, 2019)等技术和装备的发展, 进一步提升了VGEs的沉浸感和临场感, 使得用户不再以旁观者身份参与, 而是从主观上进入并参与虚拟场景, 极大提升用户的认知体验。

2.1.2 VGEs可实现超越现实的理解

VGEs提供了超越现实的抽象表示、时空模拟、空间解析以及综合分析能力。(1)利用地理场景重建、地理过程回溯以及地理现象预测等方式, 使用户可以探究现实世界中并不存在(如已规划但尚未建设的城市新区)、不复存在(如遭到破坏或已经消失的历史遗迹)或者可能会出现(如预测洪水可能淹没的范围)的地理对象、地理场景及地理现象;(2)在多模态空间表达(如透视、剖面展示等)技术支持下, 用户可实现现实空间无法或难以完成的认知手段, 如空中、地下、水下、体内部观察, 透视观察与剖面观察等, 这种认知延伸了人类感觉通道, 使用户对地理环境的理解更加全面深刻;(3)VGEs通过集成多源数据和地理分析模型, 为复杂地理问题的计算、推理、分析及辅助决策提供一个显著优于现实空间的集成化分析环境。

2.2 VGEs地理空间认知的基本内容

地理空间认知的目的是获取地理空间知识、解决地理问题。一般认为, 地理学主要回答6类关于地理对象的问题, 即“它在哪里? 它是什么样子的? 它为什么在那里? 它是如何发生的? 它产生了什么影响? 怎样使它有利于人类和自然环境?”(张雪英等, 2020)。VGEs地理空间认知以解决以上地理问题为目标, 概括来讲, VGE地理空间认知主要包含3个层次(图1), 即地理本体认知、地理过程认知和地理行为认知(林琿等, 2020)。其中, 地理本体认知关注地理对象的本质和内涵, 即探究“它是什么? 它在哪里? 它是什么样子的?”等事实型知识; 地理过程认知关注地理现象的形成过程和机理, 即探究“它为什么在哪里? 它是如何产生的?”等推导型知识; 地理行为认知关注人地关系与人类行为, 即探究“它产生了什么影响? 怎样使它有利于人类和自然环

境?”等决策型知识。

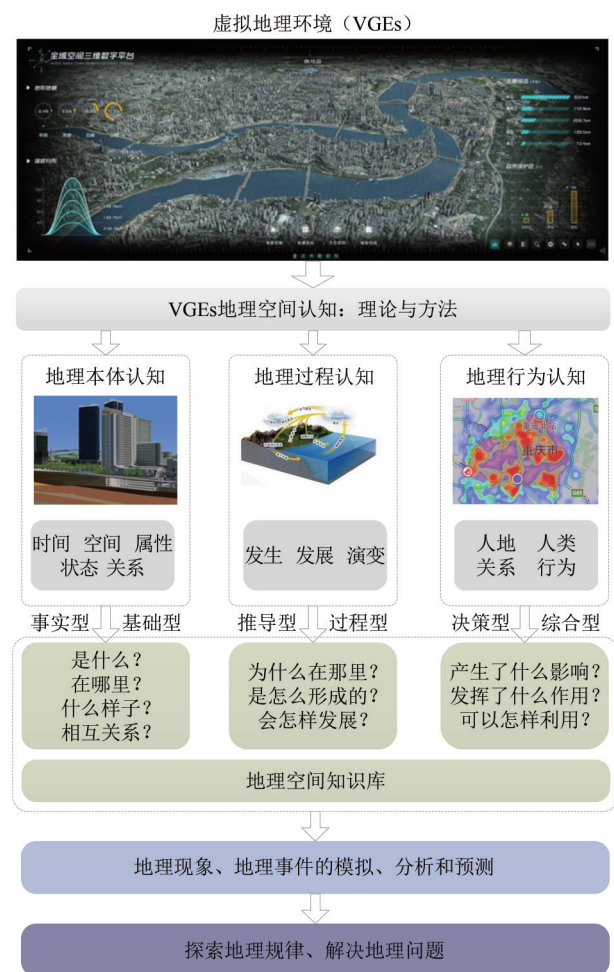


图1 VGEs地理空间认知的总体框架

Fig. 1 VGEs based geo-spatial cognition framework

2.2.1 地理本体认知

地理本体是研究地理环境和地理空间对象的本质和内涵。地理本体认知是最基础的认知层次，是指在虚拟环境中以人类视觉为主要手段，结合听觉、触觉等方式，逐步实现对地理环境及地理空间对象本体信息的理解和认知。地理本体信息大致可用状态信息和关系信息来表征。

状态信息是地理实体在某一个时空下一系列属性特征的客观反映，包括地理实体的空间位置、本质属性（是什么）、附属属性（是什么样子？如形状、尺寸、结构）等信息，表达了地理实体在客观世界的映射。

关系信息表达不同实体间存在的关联关系，包括空间关系、语义关系等，其中空间关系主要包含拓扑（表征邻近和关联程度）、方向（表征相

对方位）和距离（表征远近亲疏程度），是开展各类空间分析与量算从而获取实体间关系、要素分布、空间格局等知识的基础；语义关系包含父子、等同、相似、互斥等，表征不同实体间的逻辑和依存关系，语义关系的表达和处理是VGEs区别于传统GIS的一个重要特征，是开展地理空间推理的必要条件，语义化技术的发展是实现城市空间结构化建模与城市计算（郑宇，2015）的重要基础。

地理本体认知所形成的知识是地理知识库中最基本的知识单元，可提供包括“是什么、在哪里、什么时候、当前什么样子、它们之间是什么关系”等基础型、事实型知识，是一种静态知识。

2.2.2 地理过程认知

地理过程是指地理事物的位置、形态、属性等特征随时间变化的过程，完整的地理过程包括从发生、发展、演化到消亡的全过程。自然地理学中，通常将地理过程分为地理循环过程（如大气循环）、地理演变过程（如河流侵蚀）、地理波动性变化过程（如人口变化）和地理扩散过程（如城市扩张）（李爽和姚静，2005），这里关注的人口变化及城市扩张等人类活动是长时间尺度的（如几年、几十年甚至几百年），而“2.2.3 地理行为认知”部分讨论的人类活动则是较短时间尺度的（如天、周或月）。

针对地理过程的认知研究大致分为地理过程反演和地理过程预测，其中反演是指尽可能详尽纪录一个时间段内地理现象随时间变化的特征，并通过经验公式或数理模型重建地理过程，研究其内在规律；预测是对地理现象未来可能出现的状态和特征进行模拟和预测，推测未来发展趋势。

VGEs地理过程认知的关键在于在虚拟环境中集成地理模型，实现对地理过程、地理现象的模拟、仿真、推演、回溯与预测，揭示该研究对象在时间空间上的变化逻辑、演化规律等知识。

地理过程认知可提供包括“是怎么形成、形成机理是什么、会怎样发展”等过程型、推导型知识，是一种动态知识。

2.2.3 地理行为认知

Chai等（2016）认为行为地理学是在考虑地理环境的情况下，从人的视角理解人类活动行为与地理环境的关系。地理行为认知借鉴行为地理

学的思路,研究人类在地理环境中的行为过程、规律及其与城市功能结构的作用机制。

早期的行为研究以个人或家庭的出行模式为研究对象,随着大数据、物联网等技术的快速发展,多源地理大数据极大拓展了人类时空行为的研究思路 and 手段。其中,利用公交刷卡、出租车轨迹、地图导航等交通大数据可识别城市空间结构(刘瑜等,2018)、分析城市空间分布格局(Huang等,2018)、跨城职住结构认知(吴冠秋等,2021);利用手机信令、社交媒体、互联网等数据可感知人类活动场所(王圣音等,2018)、分析人类移动模式(刘瑜等,2014;倪玲霖等,2017)、探究人类活动时空模式(许珺等,2020);将人口迁徙、用户行程等位置大数据与传染病疫情数据结合,可实现对传染病疫情的时空动态模拟和预测(Li等,2019;Wu等,2020)。

在VGEs中开展地理行为认知主要有两个思路:(1)利用记录的行为大数据在VGEs中重建行为过程,分析行为的时空特征、时空模式及其与其它地理要素的关系;探究行为背后的驱动因素和形成机制。(2)利用VGEs为人类行为研究提供一个接近于现实世界的时空框架,以个体心理行为范式和社会情感计算模型为约束,指导开展人类行为的模拟实验与分析(林琿等,2020;Torrens,2018;屈云超等,2014)。

相较于二维地图及传统GIS系统,VGEs可支撑建立新一代虚拟地理认知实验框架(张帆等,2018),具备时空大数据分析能力,以三维城市模型为框架,以人类活动行为大数据为实验数据,在虚拟环境中开展人类行为模拟、计算与分析;此外,VGEs认知环境中可接入人的心理因素和情感因素对行为的影响机制,从而有效突破二维地图及传统GIS只关注几何表达与规则计算的局限性。

地理行为认知可提供包括“地理环境及特定地理现象对人类有什么作用、人类行为与所处地理环境的相互作用机制、人类可以如何更好的利用地理环境?”等决策型知识,是一种综合知识。

2.3 VGEs地理空间认知的技术方法

作为地理空间认知的新型工具,(1)VGEs继承了地图和GIS的优势,强调多种认知手段的优势互补和综合利用;(2)VGEs拓展了传统认知手

段的内涵,将包含各类地理要素的地理空间看作一个有机综合体,更加强调全局性和系统性;(3)VGEs提供了一个虚拟化基础设施环境,为各类新型空间认知技术的实施提供了集成化分析平台(图2)。

2.3.1 城市模型与城市计算

城市模型是VGEs重现真实地理环境的基础,也是直接影响空间认知效果的核心要素之一。遥感影像作为VGEs不可或缺的组成部分,除为城市模型提供基础底图外,在数据密集型科学发现(Chen和Zhang,2014)成为科学研究第四范式的今天,多平台、多传感器、多时相、多分辨率的遥感大数据,逐步突破原本遥感数据片段存在的离散、静态、片面等局限性,使整个地理过程的反演、模拟和预测成为可能,为遥感信息和虚拟地理环境的深度融合提供了新的思路,利用遥感大数据可辅助建立VGEs中环境变化的连续时空,同时为地理过程模型提供连续动态特征,实现对地理环境、地理过程及地理现象的连续、动态认知。

随着空间数据获取技术的快速发展,可用于城市模型建立的数据源也越来越丰富,包括DEM、二维矢量、卫星遥感、机载航空、无人机、倾斜摄影、机载/地面激光点云等多样化数据拓展了城市建模的手段,目前主流的建模方法主要有:基于矢量数据的参数化建模(Biljecki等,2017,2016)、基于倾斜影像的城市实景三维建模(Wu等,2018)、基于多视图点云的自动建模(Leotta等,2019)、基于LiDAR点云的三维建模(Tomljenovic等,2015)以及多源数据融合的三维建模(Abayowa等,2015)等。

但总的来讲,大场景城市模型大多延续了三维GIS的思路,即以点、线、面、体表达几何形态为主。随着智慧城市建设的推进,传统GIS模式的局限性开始凸显。一方面,如何突破多源异构、多时空尺度数据的一体化表达,如地上与地下、室外与室内、离散与连续、渐变与突变、语义与属性、时间与空间信息的融合表达(Lü等,2015);另一方面,以几何形态为核心的GIS模型在支撑大规模地理模拟与计算方面能力不足,限制了复杂地理问题的求解能力(林琿等,2020)。

随着结构化语义建模等技术的发展,现代

VGEs的城市模型正朝着第2阶段——GIS+BIM的方向发展，即利用GIS表达宏观层面的大场景，利用建筑信息模型BIM（Building Information Model）

加入更加精细的建筑单体、部件、构件等微观信息；并利用语义化技术进行结构提取和属性挂接，使其在功能上可突破传统GIS模型的诸多局限：

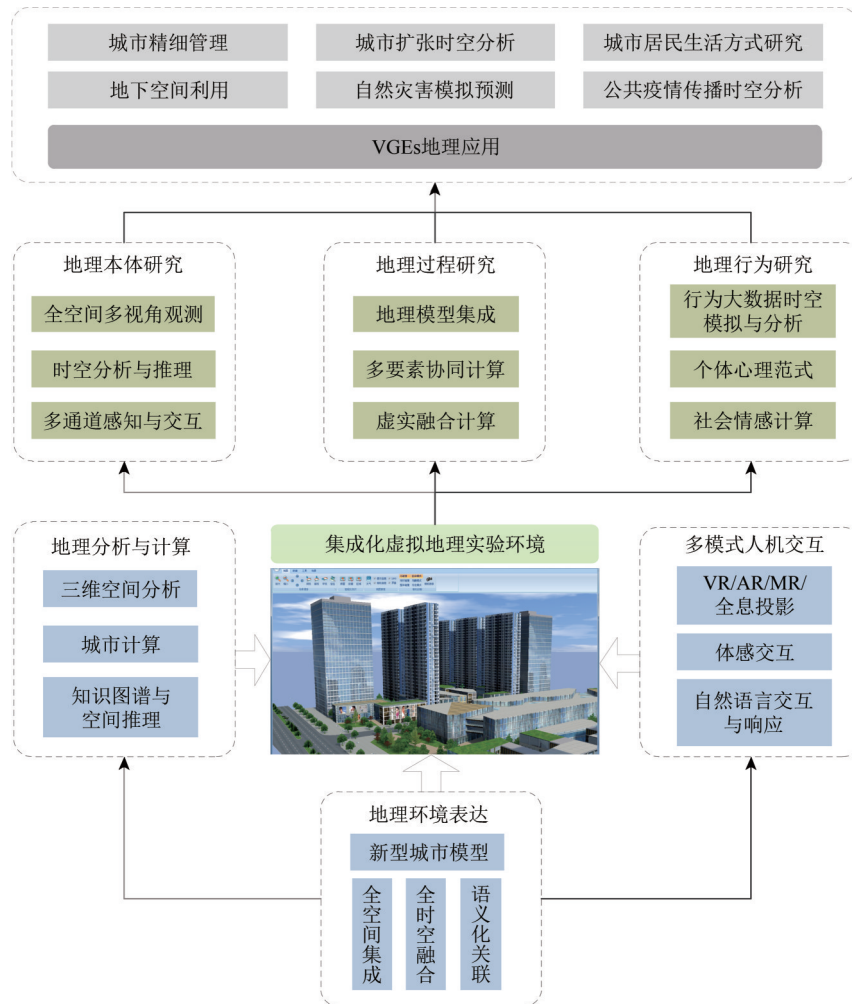


图2 VGEs地理空间认知的技术体系

Fig. 2 VGEs based geo-spatial cognition methods

一方面，以实体化建模构建的虚拟城市空间，可实现地上地下及室内室外全空间一体化集成、过去现在与未来全时空关联，三维可视化效果更佳，同时还包含了城市要素属性。在多模态空间表达（如透视、剖面展示、建筑部件空间解构等）技术支持下，可实现对地理环境及地理空间对象的宏观与微观、表层与内部、过去与未来的空间格局、形态、结构及关联关系等全方位、多视角、多粒度理解与认知。

另一方面，VGEs在继承GIS三维空间分析的基础上，进一步深化了地理分析与计算能力。以语义化结构建模为核心的新型城市模型，包含了可被计算机理解的城市几何结构、语义和属性信

息，将城市模型从可视化阶段真正引入城市计算（郑宇，2015）领域，城市里的人、物、传感器均可作为计算单元参与大规模综合计算（郑宇，2015），实现城市空间数据挖掘、地理模拟分析、时空模式识别与综合空间决策等，城市计算的发展将有助于用户认知城市空间更高维度、更深层次的内涵和规律。

2.3.2 多通道感知与人机交互

交互组件是用户参与VGEs的窗口和直接通道（林琚等，2020），通过模拟人的感觉通道（视觉、听觉、触觉等），帮助用户以日常的交互方式获得类似于真实地理环境的感知信息，从而增强用户对地理环境的认知。

目前, VGEs 的人机交互组件主要来自于计算机和虚拟现实领域, VR 技术(如立体眼镜)的引入可增强用户在虚拟地理环境中的沉浸感; AR 技术(如沉浸式头盔)将虚拟信息与真实世界相互叠加补充, 从而实现对真实世界的“增强”; MR 技术通过全息影像将现实环境与虚拟环境相互混合, 从而实现实时互动; 全息投影技术通过记录并再现物体真实的三维图像, 实现虚拟影像实体化, 进一步强化了虚实融合效果。以上技术的引入为 VGEs 多通道感知和人机交互的实现提供了技术支撑。

但同时 VGEs 与虚拟现实又有着本质区别, 即 VGEs 的地理特征(林琿等, 2020), VGEs 强调用户作为自然人实现对真实地理环境、地理对象及地理过程的感知、交互与操作。因此面向 VGEs 的交互组件需强化两个观点: (1) VGEs 交互需符合现实物理世界的逻辑与规则, 包括物理碰撞、重力感应、力的作用与反作用等, 以确保用户对地理空间的感知以及地理环境对用户的反馈真实准确、符合现实; (2) VGEs 交互需符合人类在自然世界的操作习惯, 日常生活中常用手势、肢体和语言与空间地物交互和操控, 随着智能手套和体感交互等设备的发展以及知识图谱驱动下的自然语言处理、智能问答与响应等新技术的发展, 将有望进一步提升 VGEs 的人机交互体验。

此外, 对异地协作和公众参与的支持一直是 GIS 重点关注、提升地理决策能力的重要手段, WebGIS 的发展一定程度上延伸了传统 GIS 的网络应用, 其中一个重要方向就是将 3D GIS 和 WebGIS 相结合(王翔等, 2014), 如 Hu 等(2015)研究了一种支持公众参与的协同 3D GIS, 在线为公众提供一个集成多种数据、功能和服务的虚拟环境。作为 WebGIS 和 3D GIS 结合的升级形态, 基于网络的协同式 VGEs 极大提升了用户的交互体验, 可在线提供支持协同工作、公众参与和群体决策的集成化虚拟地理实验环境与工作空间。

2.3.3 地理知识图谱与地理空间推理

知识图谱(Knowledge Graph)是以接近人的思维形式, 在计算机中表示信息和知识的有效载体, 其本质是一种大型语义网络, 是人工智能应用的重要基础设施(张雪英等, 2020)。地理知识图谱是知识图谱在地理学的拓展, 近年来成为地

理信息科学领域的研究热点(张雪英等, 2020; 蒋秉川等, 2018; 刘俊楠等, 2020; 陆锋等, 2017), 其核心是建立语义关联的地理知识库, 能够提供系统化、结构化的深层次地理知识。

VGEs 在支撑地理知识挖掘、知识管理与知识服务方面具有显著优势。将知识图谱、语义推理等技术引入虚拟环境, 基于多源异构数据构建大规模地理知识图谱, 从而建立 VGEs 地理知识库, 成为 VGEs 知识工程的关键环节之一(蒋秉川等, 2018)。

知识推理是由已知的知识推导出的新知识的过程, 是人类获取知识、认知世界的主要方法(官赛萍等, 2018)。地理知识推理是知识推理在地理学的拓展, 是获取地理知识、认知地理环境的主要手段。随着知识图谱技术的快速发展, 面向知识图谱的知识推理极大拓展了传统知识推理方法(主要基于逻辑和规则), 如神经网络的引入在很大程度上增强了复杂问题的推理能力(官赛萍等, 2018)。在 VGEs 中, 以地理知识库为支撑, 开展面向地理知识图谱的地理空间推理, 基于语义模型和时空数据的多层次关联关系, 进行空间关联推理、因果分析与知识挖掘, 从而达到提高地理空间认知程度的目的。

2.3.4 地理过程模拟与仿真

VGEs 提供一个集成化虚拟地理实验环境, 可用于模拟和分析复杂地学过程(林琿等, 2020)。地学研究者通常采用特定的地理模型描述地理变量在时空上的动态变化特征。基于 VGEs 的地理过程模拟关键是在虚拟环境中集成地理模型, 结合先进的可视化仿真技术, 将模拟的地理全过程在虚拟环境中进行可视化呈现, 进而分析其影响因素和形成机制。

目前针对地理过程的模拟仿真已形成一些专题模拟分析工具, 典型的如三维微气候模拟工具(ENVI-met)、烟气流动分析工具(PyroSim)、三维地表水环境模拟工具(Delft3D)、噪声污染和空气污染三维模拟分析工具(Cadna/A)以及城市雨水系统模拟工具(MIKE)等。该类模拟分析工具能够在一些特定的场景中, 如商场、学校、地铁站等城市空间以及地表、滑坡、洪水等自然地理场景, 利用相关的专业模型(如统计模型、空气动力学模型、计算流体力学模型等)实现特定地

理过程的模拟与分析。

然而, 专题模拟分析工具只能实现小场景局部要素的模拟分析, 具有较大的局限性。VGEs的集成化实验环境能够实现大场景全要素的地理过程模拟, 使其更加符合现实环境的复杂情况。VGEs地理过程模拟主要考虑两个关键点的突破: (1) 考虑现实环境的地理过程往往不是单个因素驱动或只由局部空间引起, 因此需要通过多地理模型集成来实现多地理过程协同作用引起的综合变化; 同时需要引入城市计算(郑宇, 2015)的概念, 将城市空间中与所研究地理变量相关联的地理对象、地理要素、人、物等各类因素均作为计算单元, 利用更加完善的数理模型来协同完成整个地理过程的模拟与分析计算; (2) 需要在VGEs中构建一种“虚实结合”的地理学实验方式, 通过接入传感器网络提供的实时感知信息, 借助虚实融合相关技术, 使虚拟环境与真实环境融合在一起, 为地理过程模拟提供一个更加接近现实世界的空间环境, 从而更加准确地模拟地理现象实时动态过程。

2.3.5 行为模式识别与情感计算

人类活动行为模式可通过居民出行的轨迹数据来反映(张帆等, 2018)。随着信息化和大数据技术的发展, 能够反映人类活动行为的时空位置数据也越来越丰富, 李德仁等(2020)面向疫情防控需求给出了当前可用的时空位置大数据列表, 包括3大通信运营商、阿里巴巴、腾讯、百度、滴滴出行、铁路12306、各大航空公司及交通管理部门等提供的用户位置、轨迹、交通行程、迁入迁出、车辆通行等丰富信息, 很大程度上拓展了人类行为研究的思路 and 手段。基于位置大数据的行为模式分析成为目前研究人类时空行为的主流方法, 研究者通常以时空GIS(萧世伦和方志祥, 2014)为支撑, 结合相关分析模型(如数据聚合模型、通勤行为识别模型、通勤距离计算模型等)和时空特征分析方法(如核密度分析、网络分析、张量分解等)对人类活动行为的时空特征、时空模式及其与地理环境的相互作用机制进行认知和理解。

然而, 时空GIS在挖掘大数据中蕴藏的时空规律方面存在较大不足, VGEs则进一步拓展了时空大数据分析能力, 支撑建立新一代虚拟地理认知

实验框架(张帆等, 2018)。VGEs地理认知实验框架不再主动构建实验环境, 而是以涵盖城市宏观场景与微观部件的城市三维模型为基础框架和基本配置信息, 以人类活动行为大数据作为实验数据, 在虚拟环境中完成人地关系及人类行为的表达、建模、模拟和预测, 挖掘人类行为与地理环境的耦合关系及相互作用机制。

此外, 时空GIS强调几何表达和规则计算, 但未能建立起行为主体(个体或群体)心理因素及社会情感因素对行为的影响机制, 如关于人员疏散模拟, 强调空间可达及路径规划, 未能建立起恐惧心理、从众效应及客流引导等对逃生行为的影响。随着认知心理学与社会情感计算的发展, 针对人类情感及其与地理环境之间的关系研究正在得到持续关注, 如Svoray等(2018)通过将大量人脸照片与地理空间位置相映射, 来分析照片中面部表情(反映情绪)与3个地理环境因子(绿色、离水的距离和城市发展)之间的关系; Li等(2021)提出一种绘制人类情感地理分布的方法框架, 为情感地理学的研究提供了新的思路; 张帆等(2021)介绍了基于海量街景图片和人工智能开展城市场景、场所情感感知。基于VGEs提供的虚拟地理认知实验框架, 可开展以个体心理行为范式和社会情感计算模型为约束的行为模拟认知与分析, 成为人类行为认知研究的一个重要发展方向(林琿等, 2020)。

3 VGEs地理空间认知实践

3.1 VGEs地理空间认知的技术实现

项目组面向实际应用需求, 结合多项地理空间认知技术研究成果, 初步构建了集成化虚拟地理空间认知环境, 主要的技术实现包括: 提出一种基于地理实体的多层次混合地理编码方法, 构建了全域一体化立体空间框架, 实现全域地形三维、倾斜三维、仿真三维、BIM等异构三维数据无缝集成, 从而建立地上地下、室内室外一体化的城市三维模型; 利用单体化、语义化技术对城市模型中的空间对象进行结构提取和属性挂接(如地名地址、住户、法人等), 形成可量化并可检索的城市描述信息; 设计并实现了三维场景中空间对象多模态表达与分析方法, 通过对楼栋模型分层分户组织, 基于WebGL实现对单个楼层的

抽屉式空间展示和属性查询,以及空间透视、空间剖视等空间表达和兼顾地形改造的道路、桥梁、隧道、建筑体等空间模拟;设计了多因子协同的区域级地理计算模型,可实现复合因素影响下的区域空间计算,如综合交通、职住、社交等多源数据的城市功能区识别;结合VR立体眼镜,对三维地形和三维模型进行改造,形成沉浸式三维立体场景,此外还设计了基于手机的空间对象立体视觉展示等人机交互手段;以在线接入的方式将现实世界的动态监测等感知信息嵌入虚拟地理空间,实现虚实结合的地理过程动态模拟;通过建立情感因子(如恐惧心理、从众效应等)对个体行为的经验影响模型,设计了情感因素参与下的地理行为仿真,如人员疏散仿真、交通运行仿真等。

3.2 VGEs地理空间认知的实践效果

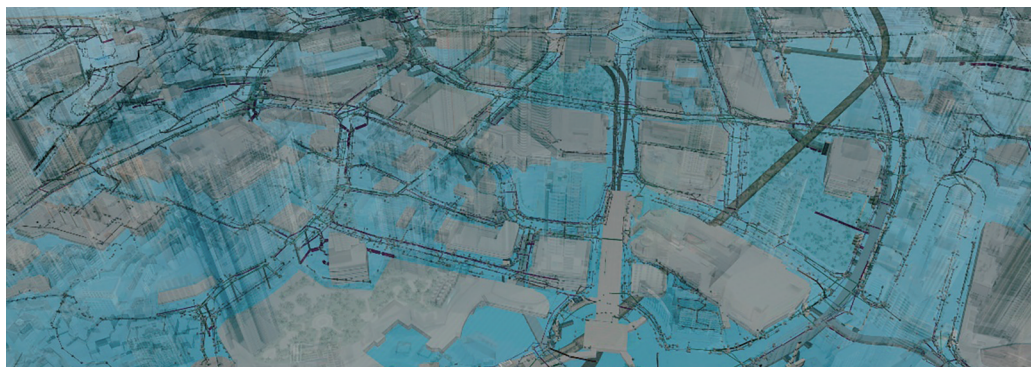
以初步构建的集成化虚拟地理空间认知环境为基础,选取典型案例介绍VGEs地理空间认知应用实践的部分成果。

(1) 在地理本体认知方面,基于新型城市模型构建形成地上地下、室内室外一体化的城市数字空间,结合俯视、透视、剖面、地下观察、水下观察等方式,实现对广域(空间分布和空间形

态)、局部(空间格局和空间布局)(图3(a))、内部(空间组成和空间结构)(图3(b))等不同尺度地理环境和地理空间对象的认知;开展包括剖面分析、填挖方分析(图3(c))、动态可视域分析、建筑部件空间解构(图3(d))等三维空间分析,凸显VGEs开展空间分析的优势,以现实世界无法或难以实现的方式强化对特定地理空间对象的认知;同时,结合VR、AR等技术实现立体视角下的空间对象微观观测与认知(图3(e))。

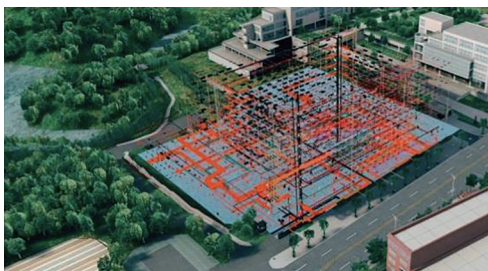
(2) 地理过程认知方面,以洪水过程模拟与分析为例(图3(f)),在VGEs提供的集成化虚拟认知实验框架下,融合地形、建筑等静态空间数据与水位监测等实时动态数据,以“虚实结合”的方式准确模拟不同时刻洪水淹没范围,推演洪水淹没过程,辅助对城市空间中洪水的发生、发展及演变的深刻理解。

(3) 地理行为认知方面,在VGEs中初步构建了集成化虚拟地理认知实验框架,以交通仿真为例(图3(g)),在VGEs中初步建立以地理要素(道路、建筑、行道树、人、车等)、物理要素(交通规则、驾车视线、物理碰撞等)及情感要素(从众效应、交通指示、导航引导等)协同计算的交通仿真实验框架,为下一步结合实时交通信息模拟交通运行及道路拥堵情况奠定基础。



(a) 城市地下空间格局认知

(a) VGEs based cognition of urban underground space pattern



(b) 建筑内部结构认知

(b) VGEs based cognition of internal structure of building



(c) 面向道路规划的填挖方计算

(c) Road planning oriented cut & fill calculation

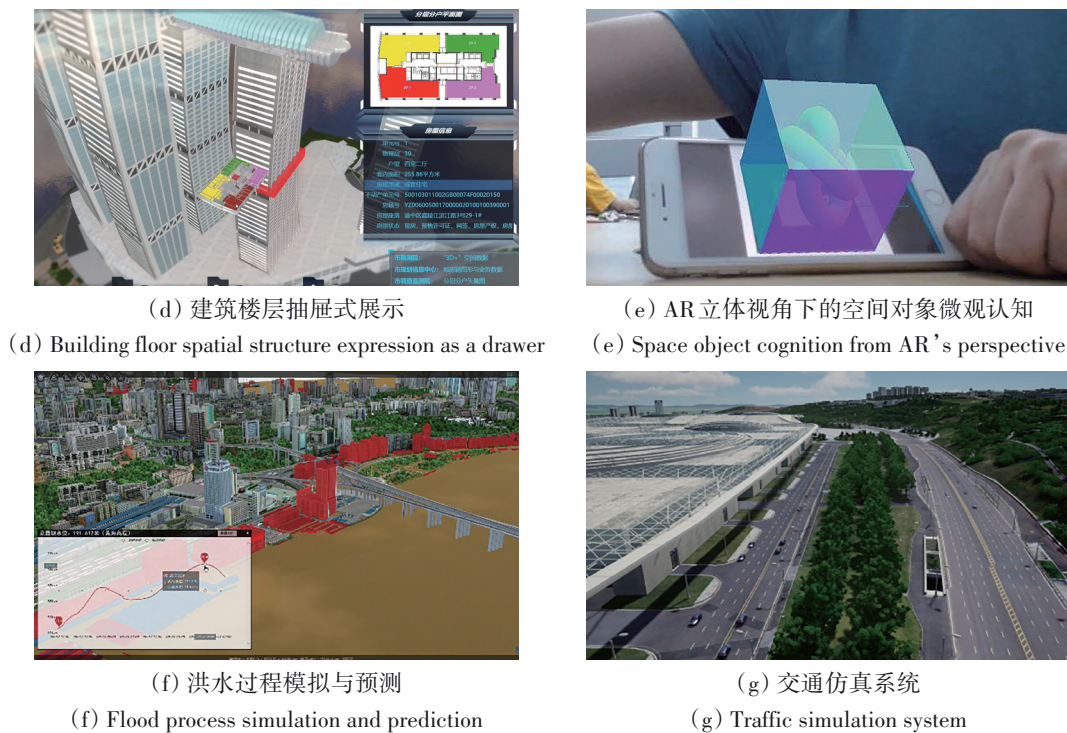


图3 VGEs 地理空间认知的应用实践

Fig. 3 VGEs based geo-spatial cognition applications

从目前主要的已有研究成果来看,如林琚等(2010, 2020)主要提出了地理空间认知的3层次框架,并重点针对VGEs地理知识表达和共享开展了应用实践(林琚等, 2016);贾奋励等(2015)构建了包含思维相似、感觉相似、几何相似、特性相似和离散相似在内的VGEs认知研究初步框架;江南等(2017)分析了全空间信息系统从空间认知广度、深度及认知主体3个方面扩展了传统表征形式,并提出了包含展示性表达、分析性表达和探索性表达在内的全空间信息系统表达体系;张帆等(2018)在林琚课题组研究成果基础上,进一步提出了构建大数据背景下的虚拟地理认知实验框架,并以街景数据和情感评分数据,开展了虚拟环境中认知知识挖掘的案例实践。

以上成果都对VGEs地理空间认知作了较为深入的探索,但更多集中于概念的探讨、研究框架的探索、虚拟环境中空间对象和地理知识的表达等前期阶段,而本文则是在此基础上的进一步探索,在VGEs地理空间认知总体框架和技术体系的支撑下,给出了面向地理本体认知、地理过程认知和地理行为认知的实现途径及初步实践结果,将VGEs地理空间认知从概念探讨阶段推向技术实践阶段。

4 结 语

伴随着VGEs的发展,基于VGEs的地理空间认知作为人类获取地理空间知识、认知地理环境、求解地理问题的新方法、新工具开始引起更多的重视,相关研究工作已经逐步展开。本文在现有研究成果基础上,更加深入的探讨了基于VGEs的地理空间认知的特点和基本内涵,给出了总体框架和内容体系,并结合VGEs的技术特点,重点探讨了可用于实现地理空间认知的相关技术方法,并以项目组成果介绍了地理空间认知实际应用的案例,从而为VGEs地理空间认知的深入开展和技术实现提供新的思路和解决方案。

当然,本文只是对VGEs地理空间认知进行了初步探索,当前还存在大量亟待解决的困难和瓶颈:在地理本体认知方面,虽然已形成一些可行的认知手段,如通过多模态空间表达和分析来认知空间对象的形状、尺寸、结构等,但个体对虚拟世界与真实世界的感知鸿沟依然存在,如何实现在虚拟环境中像日常生活一样对空间地物交互和操控(如手势、肢体和语言等)成为重要方向;在地理过程认知方面,目前主要通过经验公式或数理模型重建地理过程,默认地理过程是由单个

(少量)因素驱动或只由局部空间引起,与实际不符,因此如何构建多因素(全要素)驱动的地理过程模型以及实现区域级(城市级)综合计算成为亟待解决的问题;在地理行为认知方面,行为主体的情感因素对地理行为的影响机制还处于初步探索阶段,其理论支撑、技术方法尚不成熟,亟待开展更加深入的研究。

总体而言,VGEs地理空间认知的研究内容广泛、研究难度大,要实现真正帮助人类认知现实世界、探寻地理规律和解决地理问题,还有很长的路要走。但不可否认的是,VGEs正朝着新一代地理分析工具、虚拟地理认知实验环境以及地理知识工程实现的重要手段而发展,其理论内涵将随着探索过程的深入而变得更加明朗,其技术实现手段也会随着地理信息科学与虚拟现实、人工智能、认知心理学等交叉学科的突破不断成熟和丰富。

志 谢 重庆市勘测院的李锋、何兴富、詹勇、谭桢桦、刘一臻、杨元、谭涵等参加了部分实验研究或讨论,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References)

- Abayowa B O, Yilmaz A and Hardie R C. 2015. Automatic registration of optical aerial imagery to a LiDAR point cloud for generation of city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 106: 68-81 [DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2015.05.006]
- Biljecki F, Ledoux H and Stoter J. 2017. Generating 3D city models without elevation data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64: 1-18 [DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.001]
- Biljecki F, Ledoux H, Stoter J and Vosselman G. 2016. The variants of an LOD of a 3D building model and their influence on spatial analyses. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116: 42-54 [DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.03.003]
- Chai Y W, Ta N and Ma J. 2016. The socio-spatial dimension of behavior analysis: frontiers and progress in Chinese behavioral geography. *Journal of Geographical Sciences*, 26(8): 1243-1260 [DOI: 10.1007/s11442-016-1324-x]
- Chen C L P and Zhang C Y. 2014. Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: a survey on Big Data. *Information Sciences*, 275: 314-347 [DOI: 10.1016/j.ins.2014.01.015]
- Chen Y F. 2001. Spatial cognition research on electronic maps. *Progress in Geography*, 20(S1): 63-68 (陈毓芬. 2001. 电子地图的空间认知研究. 地理科学进展, 20(S1): 63-68) [DOI: 10.11820/dlkxjz.2001.s1.007]
- Guan S P, Jin X L, Jia Y T, Wang Y Z and Cheng X Q. 2018. Knowledge reasoning over knowledge graph: a survey. *Journal of Software*, 29(10): 2966-2994 (官赛萍, 靳小龙, 贾岩涛, 王元卓, 程学旗. 2018. 面向知识图谱的知识推理研究进展. 软件学报, 29(10): 2966-2994) [DOI: 10.13328/j.cnki.jos.005551]
- Guo H D. 2009. Digital Earth: ten years' development and prospect. *Advances in Earth Science*, 24(9): 955-962 (郭华东. 2009. 数字地球: 10年发展与前瞻. 地球科学进展, 24(9): 955-962) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-8166.2009.09.001]
- Guo H D and Yang C J. 1999. Developing national earth observing system for "Digital Earth". *Journal of Remote Sensing*, 3(2): 90-93 (郭华东, 杨崇俊. 1999. 建设国家对地观测体系, 构筑“数字地球”. 遥感学报, 3(2): 90-93)
- Hu Y J, Lv Z H, Wu J P, Janowicz K, Zhao X Z and Yu B L. 2015. A multistage collaborative 3D GIS to support public participation. *International Journal of Digital Earth*, 8(3): 212-234 [DOI: 10.1080/17538947.2013.866172]
- Huang J, Levinson D, Wang J E, Zhou J P and Wang Z J. 2018. Tracking job and housing dynamics with smartcard data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(50): 12710-12715 [DOI: 10.1073/pnas.1815928115]
- Jia F L, Zhang W W and You X. 2015. Cognitive research framework of virtual geographic environment. *Journal of Remote Sensing*, 19(2): 179-187 (贾奋励, 张威巍, 游雄. 2015. 虚拟地理环境的认知研究框架初探. 遥感学报, 19(2): 179-187) [DOI: 10.11834/jrs.20154013]
- Jiang B C, Wan G, Xu J, Li F and Wen H Q. 2018. Geographic knowledge graph building extracted multi-sourced heterogeneous data. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 47(8): 1051-1061 (蒋秉川, 万刚, 许剑, 李锋, 温荟琦. 2018. 多源异构数据的大规模地理知识图谱构建. 测绘学报, 47(8): 1051-1061) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2018.20180113]
- Jiang N, Fang C and Chen M J. 2017. Initial exploration of pan-spatial cognition and representation. *Journal of Geo-information Science*, 19(9): 1150-1157 (江南, 方成, 陈敏颀. 2017. 全空间信息系统认知与表达初探. 地球信息科学学报, 19(9): 1150-1157) [DOI: 10.3724/SP.J.1047.2017.01150]
- Leotta M J, Long C J, Jacquet B, Zins M, Lipsa D, Shan J, Xu B, Li Z X, Zhang X, Chang S F, Purri M, Xue J and Dana K. 2019. Urban semantic 3D reconstruction from multiview satellite imagery//Proceedings of the 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. Long Beach, CA, USA: IEEE: 1451-1460 [DOI: 10.1109/CVPRW.2019.00186]
- Li D R, Shao Z F, Yu W B, Zhu X Y and Zhou S H. 2020. Public epidemic prevention and control services based on big data of spatio-temporal location make cities more smart. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 45(4): 475-487, 556 (李德仁, 邵振峰, 于文博, 朱欣焰, 周素红. 2020. 基于时空位置大数据的公共疫情防控服务让城市更智慧. 武汉大学学报(信息科

- 学版), 45(4): 475-487, 556) [DOI: 10.13203/j.whugis20200145]
- Li M F, Shi X, Li X, Ma W J, He J F and Liu T. 2019. Epidemic forest: a spatiotemporal model for communicable diseases. *Annals of the American Association of Geographers*, 109(3): 812-836 [DOI: 10.1080/24694452.2018.1511413]
- Li S and Yao J. 2005. The multi-dimension data model of virtual geographic environments and its expression in geographical processes. *Geography and Geo-Information Science*, 21(4): 1-5 (李爽, 姚静. 2005. 虚拟地理环境的多维数据模型与地理过程表达. *地理与地理信息科学*, 21(4): 1-5) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-0504.2005.04.001]
- Li Y Z, Fei T, Huang Y J, Li J, Li X, Zhang F, Kang Y H and Wu G F. 2021. Emotional habitat: mapping the global geographic distribution of human emotion with physical environmental factors using a species distribution model. *International Journal of Geographical Information Science*, 35(2): 227-249 [DOI: 10.1080/13658816.2020.1755040]
- Lin H, Chen M, Lu G N, Zhu Q, Gong J H, You X, Wen Y N, Xu B L and Hu M Y. 2013. Virtual Geographic Environments (VGEs): a new veneration of geographic analysis tool. *Earth-Science Reviews*, 126: 74-84 [DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.08.001]
- Lin H and Gong J H. 2002. On virtual geographic environments. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 31(1): 1-6 (林琚, 龚建华. 2002. 论虚拟地理环境. *测绘学报*, 31(1): 1-6) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-1595.2002.01.001]
- Lin H, Hu M Y, Chen M, Zhang F, You L and Chen Y T. 2020. Cognitive transformation from geographic information system to virtual geographic environments. *Journal of Geo-Information Science*, 22(4): 662-672 (林琚, 胡明远, 陈旻, 张帆, 游兰, 陈宇婷. 2020. 从地理信息系统到虚拟地理环境的认知转变. *地球信息科学学报*, 22(4): 662-672) [DOI: 10.12082/dqxxkx.2020.200048]
- Lin H, Huang F R, Lu X J, Hu M Y, Xu B L and Wu L. 2010. Preliminary study on virtual geographic environment cognition and representation. *Journal of Remote Sensing*, 14(4): 822-838 (林琚, 黄凤茹, 鲁学军, 胡明远, 徐丙立, 武磊. 2010. 虚拟地理环境认知与表达研究初步. *遥感学报*, 14(4): 822-838) [DOI: 10.11834/jrs.20100415]
- Lin H, Zhang C X, Chen M and Zheng X Q. 2016. On virtual geographic environments for geographic knowledge representation and sharing. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 1290-1298 (林琚, 张春晓, 陈旻, 郑新奇. 2016. 论虚拟地理环境对地理知识的表达与共享. *遥感学报*, 20(5): 1290-1298) [DOI: 10.11834/jrs.20166185]
- Lin H and Zhu Q. 2005. The linguistic characteristics of virtual geographic environments. *Journal of Remote Sensing*, 9(2): 158-165 (林琚, 朱庆. 2005. 虚拟地理环境的地理学语言特征. *遥感学报*, 9(2): 158-165)
- Lin H, Zhu Q and Chen M. 2018. The being and non-being generate each other, and the virtual and the real are mutually interactive—the progress of Virtual Geographic Environments (VGE) studies in last 20 years. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 47(8): 1027-1030 (林琚, 朱庆, 陈旻. 2018. 有无相生虚实互济——虚拟地理环境研究 20 周年综述. *测绘学报*, 47(8): 1027-1030) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2018.20180202]
- Liu F, Wang G X, Qian H Z, Hou X and Li K. 2009. The influences of virtual geographic environment on styles of spatial cognition. *Science of Surveying and Mapping*, 34(4): 67-69, 33 (刘芳, 王光霞, 钱海忠, 侯璇, 李科. 2009. 虚拟地理环境对空间认知方式的影响. *测绘科学*, 34(4): 67-69, 33)
- Liu H J and Li L. 2020. An accurate real-time virtual reality fusion method based on local acceleration. *Engineering Journal of Wuhan University*, 53(5): 442-446 (刘华俊, 李黎. 2020. 一种基于局部加速的实时精确虚实融合方法. *武汉大学学报(工学版)*, 53(5): 442-446) [DOI: 10.14188/j.1671-8844.2020-05-010]
- Liu J N, Liu H Y, Chen X H, Guo X, Guo W Y, Zhu X M and Zhao Q B. 2020. The construction of knowledge graph towards multi-source geospatial data. *Journal of Geo-Information Science*, 22(7): 1476-1486 (刘俊楠, 刘海砚, 陈晓慧, 郭璇, 郭文月, 朱新铭, 赵清波. 2020. 面向多源地理空间数据的知识图谱构建. *地球信息科学学报*, 22(7): 1476-1486) [DOI: 10.12082/dqxxkx.2020.190565]
- Liu Y, Kang C G and Wang F H. 2014. Towards big data-driven human mobility patterns and models. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 39(6): 660-666 (刘瑜, 康朝贵, 王法辉. 2014. 大数据驱动的人类移动模式和模型研究. *武汉大学学报(信息科学版)*, 39(6): 660-666) [DOI: 10.13203/j.whugis20140149]
- Liu Y, Zhan Z H, Zhu D, Chai Y W, Ma X J and Wu L. 2018. Incorporating multi-source big geo-data to sense spatial heterogeneity patterns in an urban space. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 43(3): 327-335 (刘瑜, 詹朝晖, 朱递, 柴彦威, 马修军, 邹伦. 2018. 集成多源地理大数据感知城市空间分异格局. *武汉大学学报(信息科学版)*, 43(3): 327-335) [DOI: 10.13203/j.whugis20170383]
- Lu C H, Li H F, Gao T, Xu L and Li H L. 2019. Virtual reality head-mounted display with large field of view based on stitching. *Acta Optica Sinica*, 39(6): 0612002 (陆驰豪, 李海峰, 高涛, 徐良, 李海丽. 2019. 基于拼接的大视场虚拟现实头戴显示装置. *光学学报*, 39(6): 0612002) [DOI: 10.3788/AOS201939.0612002]
- Lu F, Yu L and Qiu P Y. 2017. On geographic knowledge graph. *Journal of Geo-Information Science*, 19(6): 723-734 (陆锋, 余丽, 仇培元. 2017. 论地理知识图谱. *地球信息科学学报*, 19(6): 723-734) [DOI: 10.3969/j.issn.1560-8999.2017.06.001]
- Lü G N, Yu Z Y, Zhou L C, Wu M G, Sheng Y H and Yuan L W. 2015. Data environment construction for virtual geographic environment. *Environmental Earth Sciences*, 74(10): 7003-7013 [DOI: 10.1007/s12665-015-4736-5]
- Ma H. 2019. Research on building and application of large-scale multi-source and multiscale real 3D model: a case study of Chongqing

- real 3D model building. *Bulletin of Surveying and Mapping*, (S2): 61-64 (马红. 2019. 大范围多源多尺度实景三维模型建设及应用研究——以重庆市实景三维模型建设为例. 测绘通报, (S2): 61-64) [DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2019.0590]
- Ni L L, Zhang S C and Chen X Q. 2017. Spatial effects of urban travel using cellular signaling data. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 51(5): 887-895 (倪玲霖, 张帅超, 陈喜群. 2017. 基于手机信令数据的居民出行空间效应. 浙江大学学报(工学版), 51(5): 887-895) [DOI: 10.3785/j.issn.1008-973X.2017.05.007]
- Qu Y C, Gao Z Y and Li X G. 2014. Modeling and simulating herding behavior and information spreading process in pedestrian flow. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 14(5): 188-193 (屈云超, 高自友, 李新刚. 2014. 考虑从众效应和信息传递的行人疏散建模. 交通运输系统工程与信息, 14(5): 188-193) [DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2014.05.063]
- Shaw S L and Fang Z X. 2014. Rethinking human behavior research from the perspective of space-time GIS. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 39(6): 667-670 (萧世伦, 方志祥. 2014. 从时空GIS视野来定量分析人类行为的思考. 武汉大学学报(信息科学版), 39(6): 667-670) [DOI: 10.13203/j.whugis20140127]
- Svoray T, Dorman M, Shahar G and Kloog I. 2018. Demonstrating the effect of exposure to nature on happy facial expressions via Flickr data: advantages of non-intrusive social network data analyses and geoinformatics methodologies. *Journal of Environmental Psychology*, 58: 93-100 [DOI: 10.1016/j.jenvp.2018.07.006]
- Tomljenovic I, Höfle B, Tiede D and Blaschke T. 2015. Building extraction from airborne laser scanning data: an analysis of the state of the art. *Remote Sensing*, 7(4): 3826-3862 [DOI: 10.3390/rs70403826]
- Torrens P M. 2015. Slipstreaming human geosimulation in virtual geographic environments. *Annals of GIS*, 21(4): 325-344 [DOI: 10.1080/19475683.2015.1009489]
- Torrens P M. 2018. A computational sandbox with human automata for exploring perceived egress safety in urban damage scenarios. *International Journal of Digital Earth*, 11(4): 369-396 [DOI: 10.1080/17538947.2017.1320594]
- Wan G, Gao J and Liu Y Z. 2008. Research on cognitive map formation based on reading experiments. *Journal of Remote Sensing*, 12(2): 339-346 (万刚, 高俊, 刘颖真. 2008. 基于阅读实验方法的认知地图形成研究. 遥感学报, 12(2): 339-346)
- Wang S Y, Liu Y, Chen Z D, Shi L and Zhang J. 2018. Representing multiple urban places' footprints from Dianping.com Data. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 47(8): 1105-1113 (王圣音, 刘瑜, 陈泽东, 施力, 张晶. 2018. 大众点评数据下的城市场所范围感知方法. 测绘学报, 47(8): 1105-1113)
- Wang X, Chen J P, Fan H M, Li K, Zhang H and Zheng X. 2014. Lunar geological spatial data management system based on 3D Web-GIS. *Earth Science Frontiers*, 21(6): 31-37 (王翔, 陈建平, 范海明, 李珂, 章浩, 郑啸. 2014. 基于3D WebGIS月球地质空间数据管理系统. 地学前缘, 21(6): 31-37) [DOI: 10.13745/j.esf.2014.06.004]
- Wu B, Xie L F, Hu H, Zhu Q and Yau E. 2018. Integration of aerial oblique imagery and terrestrial imagery for optimized 3D modeling in urban areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 139: 119-132 [DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.03.004]
- Wu G Q, Dang A R, Tian Y and Kan C C. 2021. Study on the urban agglomerations structure of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area based on spatiotemporal big data. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(2): 665-676 (吴冠秋, 党安荣, 田颖, 阚长城. 2021. 基于时空大数据的粤港澳大湾区城镇群结构研究. 遥感学报, 25(2): 665-676) [DOI: 10.11834/jrs.20210590]
- Wu J T, Leung K and Leung G M. 2020. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet*, 395(10225): 689-697 [DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30260-9]
- Xu J, Xu Y, Hu L and Wang Z B. 2020. Discovering spatio-temporal patterns of human activity on the Qinghai-Tibet Plateau based on crowdsourcing positioning data. *Acta Geographica Sinica*, 75(7): 1406-1417 (许珺, 徐阳, 胡蕾, 王振波. 2020. 基于位置大数据的青藏高原人类活动时空模式. 地理学报, 75(7): 1406-1417) [DOI: 10.11821/dlxb202007006]
- Zhang F, Hu M Y and Lin H. 2018. Virtual geographic cognition experiment in Big Data Era. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 47(8): 1043-1050 (张帆, 胡明远, 林珏. 2018. 大数据背景下的虚拟地理认知实验方法. 测绘学报, 47(8): 1043-1050) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2018.20180103]
- Zhang F and Liu Y. 2021. Street view imagery: Methods and applications based on artificial intelligence. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(5): 1043-1054 (张帆, 刘瑜. 2021. 街景影像——基于人工智能的方法与应用. 遥感学报, 25(5): 1043-1054) [DOI: 10.11834/jrs.20219341]
- Zhang X Y, Zhang C J, Wu M G and Lü G N. 2020. Spatiotemporal features based geographical knowledge graph construction. *Scientia Sinica Informationis*, 50(7): 1019-1032 (张雪英, 张春菊, 吴明光, 闰国年. 2020. 顾及时空特征的地理知识图谱构建方法. 中国科学: 信息科学, 50(7): 1019-1032) [DOI: 10.1360/SSI-2019-0269]
- Zheng Y. 2015. Introduction to urban computing. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 40(1): 1-13 (郑宇. 2015. 城市计算概述. 武汉大学学报(信息科学版), 40(1): 1-13) [DOI: 10.13203/j.whugis20140718]
- Zhou C H. 2015. Prospects on pan-spatial information system. *Progress in Geography*, 34(2): 129-131 (周成虎. 2015. 全空间地理信息系统展望. 地理科学进展, 34(2): 129-131) [DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.02.001]

Exploring the use of virtual geographic environments for geo-spatial cognition research

LIU Hao, XUE Mei

1. Chongqing Survey Institute, Chongqing 401121, China;

2. Chongqing Engineering Research Center of Spatiotemporal Big Data in Smart City, Chongqing 401121, China;

3. Smart City Space (CIM+) Technology Innovation Center, Chongqing 401121, China

Abstract: Geo-spatial cognition is an important method for humans to acquire geospatial knowledge and recognize geographical environment. For a long time, people carried out geo-spatial cognition based on maps and GIS, but it has been proven difficult due to the disadvantages of maps and GIS on geospatial expression, understanding of geographical process, and human-computer interaction. With the development of Virtual Geographic Environments (VGEs), people realize that VGEs have become important new tools for geo-spatial cognition because they are in accordance with the cognition habits in actual living. As an important new direction of geographic information science, VGE-based geo-spatial cognition has been extensively studied in recent years. However, in general, existing studies are still at the primary stage; they mostly focus on the concept, cognitive characteristics, and the preliminary framework. However, studies on the connotation and relevant technical methods are few.

In accordance with the solution of the six classical geographical questions, the basic contents of VGE-based geo-spatial cognition from the three levels of geographical ontology cognition, geographical process cognition, and geographical behavior cognition are elaborated. Among them, the geographical ontology cognition solves the questions of “what, where, when, and their relationship.” Geographical process cognition solves the questions of “why is it there, how does it form, and how will it develops.” Geographic behavioral cognition solves the questions of “what’s the effect, what role does it play, and how it can be used.” Then, the relevant technical methods are discussed to realize VGE-based geo-spatial cognition, including urban spatial representation and urban computing, multimode human – computer interaction, geographical knowledge graph and spatial reasoning, geographical process simulation, geographical behavior pattern recognition, and emotional computing. Finally, a case study of Chongqing based on the overall framework and technical system is conducted.

On the basis of “Chongqing 3D Space Digital Platform,” the corresponding practical results are presented from three levels of geographical ontology cognition, geographical process cognition, and geographical behavior cognition, displaying the use of relevant technical methods to recognize geographical environment and geospatial objects. Most existing studies focus on preliminary stages, such as the concept, research framework, expression of spatial objects, and geographical knowledge in the virtual environment. On the contrary, further exploration is conducted, thereby obtaining the actual cognitive results through the application of relevant technologies.

Under the support of overall framework and technical system, the realization approach and the practice results of geographical ontology cognition, geographical process cognition, and geographical behavior cognition are presented. This approach provides new ideas and solution for in-depth development and technical implementation of VGE- based geo-spatial cognition, and transforms the research from the conceptual discussion stage to the technical practice stage.

Key words: Virtual Geographic Environments, geo-spatial cognition, cognition contents, cognition techniques, structured semantic modeling, urban computing, geographic knowledge graph, behavior pattern recognition

Supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2018YFB0505400); Key Laboratory of Land Satellite Remote Sensing Application Center, Ministry of Natural Resources of the People’s Republic of China (No. KLSMNR–202005); Ministry of Housing and Urban-Rural Development Research Project (No. 2020-K-011)