

利用虚拟地理环境的实验地理学方法

林 琿^{1,2,3} 陈 旻^{1,2}

1 香港中文大学太空与地球信息科学研究所,香港

2 香港中文大学深圳研究院,广东 深圳,518057

3 香港中文大学地理与资源管理学系,香港

摘要:近年来,随着虚拟地理环境结构和功能的逐渐清晰,虚拟地理环境的地学分析及地理实验辅助功能逐步得到了重视。基于对地理学实验特征及任务的分析,讨论了虚拟地理环境对改进传统地理学实验的贡献,借此倡导基于虚拟地理环境以“虚实结合”的方法开展综合、协作式地理实验。

关键词:虚拟地理环境;地理学实验;虚实结合;协作式

中图法分类号:P208

文献标志码:A

作为新一代地学分析工具^[1]自1998年被提出以来^[2],虚拟地理环境的发展已经经历了十几年的历程。这期间,无论是虚拟地理环境的概念框架^[1,3-12]、理论方法^[13-23],还是虚拟地理环境与行业应用相结合^[24-29]等方面,都出现了众多的研究成果。

近年来,相关学者开始关注于探讨虚拟地理环境与地理学实验的关系^[30-33],提出基于虚拟地理环境开展虚拟地理实验,为地理问题求解与决策提供有效支撑^[12]。本文从地学研究的特征出发,分析了地学实验的任务及目前存在的一些问题,阐述了虚拟地理环境在弥补传统地学实验方面的作用,倡导基于虚拟地理环境开展“虚实结合”的综合、协作式地理实验。

1 地理学研究趋势及实验地理学发展

地理学是一门研究地球表层自然要素、人文要素及其相互作用关系的综合性科学,这涉及到地貌、水文、土壤、生物、气候、人文、经济等多种因素及它们与地表过程的相互作用机制^[34-37]。面对越来越复杂的研究对象及其综合演变过程,现代地理学的研究正逐步从要素和过程分离向多要素、多过程耦合与综合研究方向发展,从宏观向宏

观与微观结合方向发展;需要以综合的观点和学科交叉的方式研究不同尺度的区域及其要素群,借助相互作用的模型开展定量模拟与预测^[38-41]。在这种大趋势下,寻求合理、科学的手段与方法以支撑复杂地学过程的综合分析,成为地理学研究迫切需要解决的问题。

实验是产生和验证科学知识的最重要的手段之一^[42]。面对高度的复杂性及综合性需求,地理学应该不再只是概念的描述和哲学的理念思维,而确实成为综合研究地表众多过程的一门实验性学科^[43-44]。开展地理学实验的目的是试图将自然和社会环境集成到一个综合性的实验框架下进行研究^[45-46]。这为综合性地学研究提供了重要的手段,有利于推动地理学的发展,使之真正成为一门综合性实验科学^[47-48]。在竺可桢^[49]、黄秉维^[50]、钱学森^[51]等老一辈科学家的积极倡议下,我国的地理实验工作得以较早地开展,在技术探索、台站建设、人员培养方面都取得了一定的成果,并在农业、水文、生态环境等方面都得到了应用与检验^[52]。

近20年来,随着理论的积累与科技的发展,地理学实验已经脱离了纯粹的实验方法研究阶段,逐渐形成了一门研究地理问题的学科与方法,即实验地理学^[53]。实验地理学在对原有的地理学实验手段及方法进行总结的基础上拓展了内

收稿日期:2014-02-28

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41171146,41101439,41371424)。

第一作者:林琿,博士,教授,国际欧亚科学院院士。主要从事虚拟地理环境、遥感科学与应用等方面的研究。E-mail:huilin@cuhk.edu.hk

通讯作者:陈旻,博士,副研究员。E-mail:chenmin0902@cuhk.edu.hk

涵,丰富了研究手段,使得其在理论及应用层面都更具系统性。唐登银在文献[54]中详细阐述了实验地理学的研究对象、任务、工作程序及基本方法:“实验地理学与普通地理学的不同之处在于前者强调用实验的方法对地理环境进行深入研究”;“实验地理学的任务在于:① 揭示地表的物理、化学过程和生物过程及其关系;② 探求地理系统的物质迁移和能量转换规律;③ 建立数学模型以表达过程和规律;④ 通过尺度转换,把微小尺度空间的研究转换到大中尺度;⑤ 进行区域分析,供区域决策和实际生产运用”。可以看出,实验地理学所提出的任务高度符合当前地理学研究的趋势,旨在以联动、定量、多尺度的视角观察、分析地理学问题,从而为发展中的地学研究提供支撑手段。

然而,任何学科的发展都需要一定的过程。目前,地理实验学的发展依然存在一些值得探讨的问题。

1) 如何将地理环境作为一个完整的综合体开展实验及模拟?

解释和预言现实现象主要借助于数学模型的实现^[55-56]。实验地理学作为一门用于解释地理现象和预言地理趋势的学科,其主要功能之一在于通过开展地理实验,总结地理规律,建立地理过程模型,从而对不同的地理过程进行分析与预测^[46]。目前,地球系统各相关领域的建模工作已经开展,形成了大量的地理过程模型资源。但由于不同领域的研究者存在认知差异,其建模工具及方法也并不相同,在面对综合性、复杂性地理问题求解时,各领域所建立的模型通常相互割裂,难以耦合与集成;而领域专家之间通常更难以在普适的知识概念框架下,借助统一的工作空间开展协作式交流^[9, 57]。这直接导致了实验地理学方法难以满足综合性地学问题、现象模拟与分析的需求,阻碍了实验地理学后续的发展,同时也给地球系统科学的综合研究带来了极大的挑战。

地理环境是人类社会与自然环境的综合体,地理学研究需要结合人类社会与自然环境的关系进行综合研究,但至今为止,相关的理论和方法还有待深入挖掘^[58-59]。目前所开展的地理学实验通常偏重于自然过程的演绎和解释,由于实验场地、实验环境等存在局限,无法充分地将人为因素加到实验中辅助地理规律的总结,从而得到兼顾人为驱动因素和自然驱动因素的实验结果,难以完整解释隐含在地理环境背后的人地关系及其规律、过程及机理^[60]。如何有效地将人类活动与地理实验进行结合,将人类的知识及其行为影响带

入地理实验过程中,是促进实验地理学进步的又一大关键问题,也是人地关系研究亟待解决的问题。

2) 如何开展多维、多尺度地理实验?

地理问题所具有的多维特征要求研究者需要从时间、空间、尺度等多角度进行综合探索与处理,才能揭示新关系,获取新知识^[31]。传统的实验地理学在解决复杂地学研究过程中所具有的多维、多尺度、模糊性与不确定性问题时还存在不足^[61],且多采用野外实地实验与室内物理模型实验的研究方法,前者的可控性较差,而后者在研究一般性和普遍性问题时,难以较为真实地模拟复杂场景过程,导致了面对不同维度的地理问题求解时,其实验难以重复验证^[61]。此外,尺度问题也是地理学实验所必需面对的。现有的实验地理学研究多在点上进行,研究的空间尺度一般是微观或者田间尺度,虽然希望通过尺度转换等方法把研究内容及结果推广到较大的尺度,实现不同尺度间地理问题的综合研究,但到目前为止,还没有比较好的解决方案^[62]。

3) 如何充分利用现有的先进技术提升实验地理学的功效?

随着计算机、网络、虚拟现实等技术的发展,越来越多的先进技术可以被用于辅助开展地理学实验,如实验基地、台站的信息化管理,数学模型的云环境架构、分布式计算,实验场景的多维可视化操作与分析等。如果能够充分利用现有的先进技术,将极大地推动实验地理学的发展,特别是计算机辅助地理学实验的开展。但现阶段,相关研究虽然在各自的领域都有所进展,但如何将这些技术进行整合,服务于高效地学实验,还存在一定的难度。面对复杂性研究工作以及需要将众多技术进行整合以便辅助研究时,就需要一个以综合集成为基础的可操作平台^[63]。可以认为,这样的系统平台将有效地提升实验地理学的功效。

2 虚拟地理环境对实验地理学的潜在贡献

如何应对实验地理学所面对的问题,推动地理学综合研究的发展进程,是一项极具挑战性的任务。经过长期研究,笔者认为,将虚拟实验运用于地理学研究,构建虚拟地理环境将是提升实验地理学功效的有效途径^[12, 31]。一方面, Bainbridge^[64]于2007年在 *Science* 上撰文指出设计基于虚拟世界的虚拟实验将为实验科学的发展提供

新的契机,而这一趋势已经体现在虚拟战场仿真^[65-66]、建筑环境设计^[67-68]、人类行为分析^[69-70]等诸多领域。虚拟实验不仅能够帮助重现现实实验中难以构建的实验环境,还节省了实验成本及资源,从而极大地推动了相关方面的研究。另一方面,虚拟地理环境有其自身的特性,可以弥补现阶段实验地理学的不足^[12]。

虚拟地理环境是一类基于网络、计算机技术开发的用于地学研究的数字地理环境,该环境与真实地理环境在特定程度上具有相似性;构建虚拟地理环境的目的在于提供一个开放式的地学研究空间,用户可以借助多维感知与反馈通道身临其境地感知地学现象,并通过地理模拟与地理协同的方式开展地理学实验^[1]。虚拟地理环境具备支持地理可视化、地理过程模拟、地理协同和以“人”为中心参与等功能;基于虚拟地理环境,可以倡导一种“虚实结合”的地理学实验方式,辅助实验地理学相关理论与方法的完善,并为之提供一个集成式的综合工作空间。其具体贡献可以分析如下。

1) 虚拟地理环境与真实地理空间具有相似性,可以兼备真实地理空间的综合性、多维性与多尺度性。研究者可以利用所获取的多源异构空间数据(如传统测绘手段、传感器网络等),针对不同尺度的地理问题构建不同尺度下的虚拟地理场景,并将之整合到统一的虚拟地理环境时空框架下,基于时空尺度转换等方式实现统一时空背景下地理现象的综合挖掘与分析。

2) 虚拟地理环境以“数据库”和“模型库”为其双核心^[7],除了数据共享之外,旨在实现以地理过程模型为表现形式的地理知识的共享与重用。在统一、形象的工作空间下,基于虚拟概念场景构建、虚拟空间模拟等手段,多领域专家可以显式地交流建模思想,进行协作式建模、模拟与分析,利用数据与模型的整合、模型与模型的耦合,开展综合、集成的地理学模拟。

3) 虚拟地理环境是一类强调以“人”和“自然”为“双中心”的虚拟环境^[70]。借助多维多通道感知与反馈技术,公众可以以“化身人”的方式感受虚拟场景及地学现象,基于此贡献相应的地理知识(如生存选择等)。“化身人”与虚拟地理环境中预设的“智能人”(基于元胞自动机、多智能体等技术)相互作用,并与“地理环境”产生相互关系,从而为地理实验引入人为要素提供条件。基于以上模式,研究者可以依据虚拟地理环境中人人关系、人地关系的相互作用,构建更加符合特定情境

的模拟模型,并进一步作用于参与者,以此开展联动式、兼顾人类社会与自然环境关系的地理学实验。

4) 虚拟地理环境是一个构建在网络空间的虚拟沙盘^[1,12],这一特性决定了基于虚拟地理环境可以开展分布式的地学实验,这极大地减少了时间和空间的限制^[25]。虚拟地理环境为实验实施者、实验参与者、实验分析者乃至基于实验结果进行决策的决策专家提供了一个开放的虚拟工作空间,其开放性为相关人员提供了分布式协同合作的机会。

以上几点无论从数据、模型整合与利用方面,还是参与者协作分析方面,都体现了“虚实结合”的思想,即整合现实世界的诸多资源(包括知识),借助统一的虚拟环境,进行交互式地理学实验。

3 结 语

本文在分析地学实验的任务及目前存在的问题的基础上,认为实验地理学的发展需要探求一种更综合、集成的研究模式。现阶段,虚拟地理环境的构建更加强调其地学分析及地理实验辅助功能。通过分析可知,基于虚拟地理环境以“虚实结合”的方法开展综合、协作式地理实验,可以为实验地理学功效的提升作出应有的贡献。

参 考 文 献

- [1] Lin H, Chen M, Lu G N, et al. Virtual Geographic Environments (VGEs): A New Generation of Geographic Analysis Tool[J]. *Earth-Science Reviews*, 2013, 126: 74-84
- [2] Gong J H, Lin H, Xiao L B, et al. Geo-visualization, Multi-dimensional Geo-graphical Interpretation and Virtual Geographic Environment[C]. *GeoInformatics*, Beijing, 1998
- [3] Lin Hui, Gong Jianhua. On Virtual Geographic Environments[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, 31(1):1-6(林琿, 龚建华. 论虚拟地理环境[J]. *测绘学报*, 2002, 31(1):1-6)
- [4] Lin Hui, Gong Jianhua. Exploring Virtual Geographic Environments[J]. *Geographic Information Sciences*, 2001, 7(1): 1-7
- [5] Lin Hui, Gong Jianhua, Shi Jingjing. From Maps to GIS and VGE—A Discussion on the Evolution of the Geographic Language[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2003, 19(4):18-23(林琿, 龚建华, 施晶晶. 从地图到 GIS 和虚拟地理环境——试论地理学语言的演变[J]. *地理与地理信息科学*,

- 2003, 19(4):18-23
- [6] Lin Hui, Zhu Qing. The Linguistic Characteristics of Virtual Geographic Environments[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(2): 158-165(林琚, 朱庆. 虚拟地理环境的地理学语言特征[J]. 遥感学报, 2005, 9(2): 158-165)
- [7] Lin Hui, Xu Bingli. Some Thoughts on Virtual Geographic Environments[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(2):1-7(林琚, 徐丙立. 关于虚拟地理环境研究的几点思考[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(2):1-7)
- [8] Gong Jianhua, Zhou Jieping, Zhang Lihui. Study Progress and Theoretical Framework of Virtual Geographic Environments[J]. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(9): 915-926(龚建华, 周洁萍, 张利辉. 虚拟地理环境研究进展与理论框架[J]. 地球科学进展, 2010, 25(9): 915-926)
- [9] Lu G N. Geographic Analysis-Oriented Virtual Geographic Environment: Framework, Structure and Functions[J]. *Science China-Earth Sciences*, 2011, 54(5):733-743
- [10] Konecny M. Cartography: Challenges and Potential in the Virtual Geographic Environments Era[J]. *Annals of GIS*, 2011, 17(3):135-145
- [11] Priestnall G, Jarvis C, Burton A, et al. Virtual Geographic Environments[M]. Unwin D J, Foote K E, Tate N J, eds. Teaching Geographic Information Science and Technology in Higher Education. UK: John Wiley & Sons Ltd, 2012:257-288
- [12] Lin H, Chen M, Lu G N. Virtual Geographic Environment—A Workspace for Computer-Aided Geographic Experiments[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2013, 103(3): 465-482
- [13] Yuan L W, Yu Z Y, Chen S F, et al. CAUSTA: Clifford Algebrabased Unified Spatio-Temporal Analysis[J]. *Transactions in GIS*, 2010, 14 (S1): 59-83
- [14] Chen Min, Sheng Yehua, Wen Yongning, et al. Geographic Problem-Solving Oriented Data Representation Model [J]. *Geo-Information Science*, 2009, 11 (3): 333-337(陈旻, 盛业华, 温永宁, 等. 面向地理问题求解的数据表达模型研究[J]. 地球信息科学, 2009, 11 (3): 333-337)
- [15] Wen Y N, Chen M, Lu G N, et al. A Characteristic Bitmap Coding Method for Approximate Expression of Vector Elements Based on Self-Adaptive Gridding- Applied to Improve the R-tree as a Case [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, 27(10):1 939-1 959
- [16] Chen Min, Sheng Yehua, Wen Yongning, et al. Semantics Guided Geographic Conceptual Modeling Environment Based on Icons[J]. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 705-715(陈旻, 盛业华, 温永宁, 等. 语义引导的图标式地理概念建模环境初探[J]. 地理研究, 2009, 28(3): 705-715)
- [17] Chen M, Tao H, Lin H, et al. A Visualization Method for Geographic Conceptual Modelling[J]. *Annals of GIS*, 2011, 17(1): 15-29
- [18] Wen Y N, Chen M, Lu G N, et al. Prototyping an Open Environment for Sharing Geographical Analysis Models on Cloud Computing Platform[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2013, 6(4): 356-382
- [19] Mac Eachen A M, Kraak M J. Research Challenges in Geovisualization [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2001, 28:3-12
- [20] Chen Min, Wen Yongning, Wang Yongjun, et al. Research on 3D Visualization of Virtual Geographic Environment[J]. *Journal of System Simulation*, 2006, 18 (S1):349-355(陈旻, 温永宁, 王永君, 等. 面向虚拟地理环境的三维可视化架构研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18 (S1):349-355)
- [21] Zhu Q, Gong J, Zhang Y T. An Efficient 3D R-tree Spatial Index Method for Virtual Geographic Environments[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2007, 62(3):217-224
- [22] Chen M, Sheng Y H, Wen Y N, et al. Virtual Geographic Environments Oriented 3D Visualization System[J]. *Journal of System Simulation*, 2008, 20(19): 7-24
- [23] Xie X, Zhu Q, Du Z Q, et al. A Semantics-Constrained Profiling Approach to Complex 3D City Models[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2012, 41: 309-317
- [24] Zhu J, Gong J H, Liu W G, et al. A Collaborative Virtual Geographic Environment Based on P2P and Grid Technologies[J]. *The Information of the Science*, 2007, 177(21): 4 621-4 633
- [25] Xu B L, Lin H, Chiu L S, et al. Collaborative Virtual Geographic Environments; A Case Study of Air Pollution Simulation[J]. *The Information of the Science*, 2011, 181(11): 2 231-2 246
- [26] Xu B L, Lin H, Gong J H, et al. Integration of a Computational Grid and Virtual Geographic Environment to Facilitate Air Pollution Simulation[J]. *Computers & Geosciences*, 2013, 54:184-195
- [27] Chen M, Lin H, Wen Y N, et al. Sino-Virtual-Moon: A 3D Web Platform Using Chang'E-1 Data for Collaborative Research [J]. *Planetary and Space Science*, 2012, 65(1):130-136
- [28] Li Y, Gong J H, Zhu J, et al. Spatial-temporal Simulation and Risk Analysis of Dam-break Flood-

- ing Based on Cellular Automata[J]. *International Journal of Geographic Information Sciences*, 2013, 27(10): 2 043-2 059
- [29] Chen M, Lin H, Wen Y N, et al. Construction of a Virtual Lunar Environment Platform[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2013, 6(5): 469-482
- [30] Gong Jianhua, Li Wenhong, Zhou Jieping, et al. Exploring Conceptual Framework and Application of Virtual Geographic Experiments[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2009, 25(1): 18-21 (龚建华,李文航,周洁萍,等. 虚拟地理实验概念框架与应用初探[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(1):18-21)
- [31] Lin Hui, Huang Fengru, Lv Guonian. Development of Virtual Geographic Environments and the New Initiative in Experimental Geography[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(1): 7-20 (林琿, 黄凤茹, 闫国年. 虚拟地理环境研究的兴起与试验地理学新方向[J]. 地理学报, 2009, 64(1): 7-20)
- [32] Li Yi, Gong Jianhua, Zhou Jieping, et al. Design and Preliminary Test of a Collaborative Virtual Geographic Experiment System [J]. *Chinese High Technology Letters*, 2010, 20(4): 431-435 (李毅, 龚建华, 周洁萍, 等. 协同虚拟地理实验系统设计与初步实验[J]. 高科技通讯, 2010, 20(4): 431-435)
- [33] Gong Jianhua. On Thought and Methodology of Virtual Geographic Experiment [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2013, 30(4): 399-408 (龚建华. 论虚拟地理实验思想与方法[J]. 测绘科学技术学报, 2013, 30(4): 399-408)
- [34] Murphey R. *The Scope of Geography*[M]. 3rd ed. USA: Methuen Inc, 1982
- [35] Armstrong M P. Geography and Computational Science[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2000, 90(1): 146-156
- [36] Zheng Du, Chen Shupeng. Progress and Disciplinary Frontiers of Geographical Research[J]. *Advances in Earth Science*, 2001, 16(5): 599-606 (郑度, 陈述彭. 地理学研究进展与前沿领域[J]. 地球科学进展, 2001, 16(5): 599-606)
- [37] Wright A L R, Gale J D. Realistic Modeling of Complex Surface Processes[J]. *Nanotech*, 2003, 3(5): 227-230
- [38] Cai Yunlong, Lu Dadao, Zhou Yixing, et al. National Demands for and Development Strategies of Chinese Geography[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 6: 811-819 (蔡运龙, 陆大道, 周一星, 等. 中国地理科学的国家需求与发展战略[J]. 地理学报, 2004, 6: 811-819)
- [39] Liu Changming, Zheng Du, Lu Dadao, et al. Development Orientations for Geographical Sciences: Written Speeches by Editors in Chief from Geographical Journals[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4): 531-545 (刘昌明, 郑度, 陆大道, 等. 地理学研究的发展方向: 地理学期刊主编笔谈[J]. 地理学报, 2005, 60(4): 531-545)
- [40] Song Changqing, Leng Shuying. Some Important Scientific Problems of Integrative Study of Chinese Geography in 5 to 10 Years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4): 546-552 (宋长青, 冷疏影. 21世纪中国地理学综合研究的主要领域[J]. 地理学报, 2005, 60(4): 546-552)
- [41] Leng Shuying, Song Changqing. Review of Land Surface Geographical Process Study and Prospects in China[J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(6): 600-606 (冷疏影, 宋长青. 陆地表层系统地理过程研究回顾与展望[J]. 地球科学进展, 2005, 20(6): 600-606)
- [42] Cohen I B. *Revolution in Science*[M]. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1985
- [43] Chen Shupeng. Information and Modernization of Geography [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(3): 193-197 (陈述彭. 地理科学的信息化与现代化[J]. 地理科学, 2001, 21(3): 193-197)
- [44] Ge Quansheng, Wu Shaohong, Zhu Liping, et al. Some Ideals Related to the Development of Chinese Historical Geography in the 21st Century[J]. *Geographical Research*, 2003, 22(4): 406-415 (葛全胜, 吴绍洪, 朱立平, 等. 21世纪中国地理学发展的若干思考[J]. 地理研究, 2003, 22(4): 406-415)
- [45] Mackinder H J. On the Scope and Methods of Geography[J]. *Proceedings of the Royal Geographical Society and Monthly Record of Geography*, 1987, 9(3): 141-174
- [46] Matthew J A, Herbert D T. *Geography: A Very Short Introduction*[M]. New York: Oxford University Press, 2008
- [47] Li Jijun. Thinking About the Development of Geography in China[C]. Progress in the 90th Annual Meeting of Geographical Society of China, Beijing, 1999 (李吉均. 关于地理学在中国的发展前景之思考[C]. 中国地理学会成立 90 周年年会, 北京, 1999)
- [48] Lu Dadao, Cai Yunlong. Geography in China: As Sciences of Changing Direction [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16(4): 467-472 (陆大道, 蔡运龙. 我国地理学发展的回顾与展望——地理学: 方向正在变化的科学[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 467-472)
- [49] Zhu Kezhen. Summary of the 1960 National Geo-

- graphic Academic Conference[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1960, 26(1):1-8(竺可桢. 1960年全国地理学术会议总结[J]. *地理学报*, 1960, 26(1):1-8)
- [50] Huang Bingwei. Some Main Trend of Physical Geography[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1960, 26(3): 149-154(黄秉维. 自然地理学一些最主要的趋势[J]. *科学通报*, 1960, 26(3): 149-154)
- [51] Qian Xuesen. Suggestions About the Development of Geography[J]. *Discovery of Nature*, 1987, 6(19): 1-5(钱学森. 发展地理科学的建议[J]. *大自然探索*, 1987, 6(19): 1-5)
- [52] Tang Dengyin. Create Experimental Geography to Promote Agricultural Development [EB/OL]. http://www.cas.cn/zt/jzt/fkzt/zyzgxddldydzhb-wxs/yhbwx/200312/t20031203_2671636.shtml, 2003(唐登银. 创建实验地理促进农业发展[EB/OL]. http://www.cas.cn/zt/jzt/fkzt/zyzgxddldydzhb-wxs/yhbwx/200312/t20031203_2671636.shtml, 2003)
- [53] Livingstone D N. *The Geographical Tradition: Episodes in the History of a Contested Enterprise*[M]. UK: Blackwell Publishing Ltd, 1993
- [54] Tang Dengyin. Experimental Geography and Geographical Engineering[J]. *Geographical Research*, 1997, 16(1):1-10(唐登银. 实验地理学与地理工程学[J]. *地理研究*, 1997, 16(1):1-10)
- [55] Kac M. Some Mathematical Models in Science[J]. *Science*, 1969, 166: 695-699
- [56] Chen Yanguang, Liu Jisheng. Main Tasks and Methods of Geography[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(3): 257-263(陈彦光, 刘继生. 地理学的主要任务与研究方法-从整个科学体系的角度看地理学的发展[J]. *地理科学*, 2004, 24(3): 257-263)
- [57] Fu Bojie, Zhao Wenwu, Chen Liding. Progress and Perspective of Geographical-Ecological Processes [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(11):1 123-1 131(傅伯杰, 赵文武, 陈利顶. 地理-生态过程研究的进展与展望[J]. *地理学报*, 2006, 61(11):1 123-1 131)
- [58] Ni Shaoxiang. New Progress on the Integrated Studies in Geography [J]. *Progress in Geography*, 2003, 22(4): 335-341(倪绍祥. 地理学综合研究的新进展[J]. *地球科学进展*, 2003, 22(4): 335-341)
- [59] Ma Ainai. Introduction to Geographic Science "Bridge Science" Between Natural Science and Social Science[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005(马蔼乃. 地理科学导论: 自然科学与社会科学的“桥梁科学”[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005)
- [60] Chen M, Lin H, Hu M Y, et al. Real Geographic Scenario Based Virtual Social Environment: Integrate Geography with Social Research[J]. *Environment and Planning B*, 2013, 40(6): 1 103-1 121
- [61] Gong Jianhua, Li Wenhang, Zhou Jieping. Principle and Technical Framework of Virtual Geographic Environments[EB/OL]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_4ce917e9010009hp.html, 2006(龚建华, 李文航, 周洁萍. 虚拟地理实验原理与技术框架探讨[EB/OL]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_4ce917e9010009hp.html, 2006)
- [62] Tang Dengyin. 30 Years of Geography and Geological Engineering Experiment [EB/OL]. <http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2009/11/225775.html>, 2009(唐登银. 实验地理学与地理工程学的30年[EB/OL]. <http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2009/11/225775.html>, 2009)
- [63] Dai Ruwei, Li Yaodong. Researches on Hall for Workshop of Metasynthetic Engineering and System Complexity[J]. *Complex Systems and Complexity Science*, 2004, 1(4): 1-24(戴汝为, 李耀东. 基于综合集成的研讨厅体系及系统复杂性[J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2004, 1(4): 1-24)
- [64] Bainbridge W S. The Scientific Research Potential of Virtual Worlds[J]. *Science*, 2007, 317(5 837): 472-476
- [65] Macedonia M. Games Soldiers Play [J]. *IEEE Spectrum*, 2002, 39(3): 32-37
- [66] You Xiong. The Battlefield Environment Simulation Based on VR[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, 31(1): 7-11(游雄. 基于虚拟现实技术的战场环境仿真[J]. *测绘学报*, 2002, 31(1): 7-11)
- [67] Horne M, Hamza N. Integration of Virtual Reality Within the Built Environment Curriculum[J]. *IT-con*, 2006, 11: 311-324
- [68] Whyte J. *Virtual Reality and the Built Environment* [M]. Jordan Hill, Oxford: Linacre House, 2002
- [69] Lee J Y, Kwan M P. Visualization of Sociospatial I-solation Based on Human Activity Patterns and Social Networks in Space-time [J]. *Tijdschriftvoor Economische Sociale Geografie*, 2011, 102(4): 468-485
- [70] Gong Jianhua, Lin Hui. Exploring Human-Oriented GIS[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(8): 704-708(龚建华, 林珩. 面向地理环境主体 GIS 初探[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2006, 31(8): 704-708)

Knowledge Transfer and Adaptation for Urban Simulation Cellular Automata Model Base on Multi-source TrAdaBoost Algorithm

LIU Yilun^{1,2} LI Xia^{1,2}

1 School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2 Key Laboratory of Urbanization and Geographical Spatial Simulation, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: Traditional cellular automata (CA) cannot adequately simulate urban dynamics and land-use changes when there are insufficient training samples. To address this problem, we propose a multi-source knowledge transfer CA model. This model utilizes several existing label data sets to help train a new model. This proposed model, MSTra CA, is employed to urban simulation in Shenzhen City in Guangdong Province of China. Experiments have demonstrated that the proposed method can alleviate the sparse data problem using knowledge transfer thus reducing the negative transfer learning risk.

Key words: knowledge transfer; cellular automata; urban simulation; multi-source TrAdaBoost

First author: LIU Yilun, PhD candidate. His research interests include spatial data mining, urban simulation and agent based model. E-mail: ealenliu@gmail.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41371376.

(上接第 694 页)

Experimental Geography Based on Virtual Geographic Environments (VGEs)

LIN Hui^{1,2,3} CHEN Min^{1,2}

1 Institute of Space and Earth Information Science, The Chinese University of Hong Kong, Shatin, Hong Kong

2 Shenzhen Research Institute, The Chinese University of Hong Kong, Shenzhen 518057, China

3 Department of Geography and Resource Management, The Chinese University of Hong Kong, Shatin, Hong Kong

Abstract: In recent years, the structure and functions of Virtual Geographic Environments (VGEs) have become clearer and how they could be used to support geographic analysis and geographic experiment has received serious attention. Based on the analysis of the characteristics of geographic experiments, this paper discusses the potential contributions of VGEs to traditional geographic experimentation, thus to encourage researchers to perform geographic experiments based on VGEs in a fused reality-virtuality and collaborative way.

Key words: virtual geographic environments; geographic experiment; reality-virtuality fusion; collaboration

First author: LIN Hui, PhD, professor, Academician of Euro-Asia International Academy of Sciences. He specializes in Virtual Geographic Environments (VGEs) and remote sensing applications. E-mail: huilin@cuhk.edu.hk

Corresponding author: CHEN Min, PhD, associate researcher. E-mail: chenmin0902@cuhk.edu.hk

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41171146, 41101439, 41371424.