



计算机科学

COMPUTER SCIENCE

面向社会计算的集成建模方法与应用系统

王奇, 王刚桥, 陈永强, 刘奕

引用本文

王奇, 王刚桥, 陈永强, 刘奕. 面向社会计算的集成建模方法与应用系统[J]. 计算机科学, 2022, 49(4): 25-29.

WANG Qi, WANG Gang-qiao, CHEN Yong-qiang, LIU Yi. [Integrated Modeling Method and Application System for Social Computing](#)[J]. Computer Science, 2022, 49(4): 25-29.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[在跨学科交叉融合中深发展社会计算与社会智能](#)

Develop Social Computing and Social Intelligence Through Cross-disciplinary Fusion

计算机科学, 2022, 49(4): 3-8. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.yg20220402>

[基于多模型判别的网络入侵检测系统](#)

Network Intrusion Detection System Based on Multi-model Ensemble

计算机科学, 2021, 48(11A): 592-596. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.201100170>

[基于社会计算和深度学习的社交网络特定内容监控](#)

Specific Content Monitoring on Social Networks Based on Social Computing and Deep Learning

计算机科学, 2016, 43(10): 1-8. <https://doi.org/10.11896/j.issn.1002-137X.2016.10.001>

[数字城市模型服务系统设计](#)

Design of Model Service System for Digital City

计算机科学, 2009, 36(12): 151-153.

面向社会计算的集成建模方法与应用系统

王 奇¹ 王刚桥² 陈永强³ 刘 奕¹

1 清华大学工程物理系公共安全研究院 北京 100084

2 深圳大学管理学院 广东 深圳 518060

3 北京大学工学院 北京 100080

(thuwangqi14@163.com)

摘 要 复杂社会系统建模是社会计算面临的首要问题。面向社会计算领域的建模流程与需求,提出了一种模型深度集成架构,称为 POV 框架。该框架由物理层、覆盖层和虚拟层 3 部分组成,提供了模型的组织、表达和集成方法。基于该方法搭建了面向社会计算数据模型交互共享集成平台,为研究者们提供包括数据资源、分析工具和建模仿真计算环境的社会计算实验平台。应用示例证明了该平台能够为研究者进行社会计算研究提供有效支撑。

关键词: 社会计算;模型集成;多主体建模

中图法分类号 TP391

Integrated Modeling Method and Application System for Social Computing

WANG Qi¹, WANG Gang-qiao², CHEN Yong-qiang³ and LIU Yi¹

1 Institute of Public Safety Research, Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2 College of Management, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China

3 College of Engineering, Peking University, Beijing 100080, China

Abstract Complex social system modeling is the principle problem in social computing. Considering the modeling process and requirements in the field of social computing, a model deep integration architecture called POV framework is proposed. The framework consists of three parts, physical layer, overlay layer and virtual layer, which provides the method of model organization, expression and integration. Based on this method, an interactive sharing and integration platform for social computing data model is built, which provides researchers with a social computing experimental platform including data resources, analysis tools, modeling and simulation computing environment. Application examples show that the platform can provide effective support for researchers to carry out social computing research.

Keywords Social computing, Model integrating, Multi-agent modeling

1 引言

社会系统是一种典型的复杂系统。社会科学问题呈现出动态性、开放性和交互性等特点^[1],而传统的解析分析和经验方法难以应对社会新型问题。在此背景下,Wang 等提出了融合社会科学与计算科学的社会计算^[2]这一概念,旨在通过人工社会+计算实验+平行执行的 ACP 方法论^[3]为社会系统的复杂问题提供一种新的研究思路。

自社会计算这一概念被提出以来,人们对社会系统建模、社会系统的实验与分析方法、社会计算平台等进行了大量的研究,建立了大量的社会学基本模型,产生了大量社会学计算数据并开发了与之配套的数据分析工具,构建了多个社会

计算平台与支撑环境。如 Zhang 等建立了基于 Agent 计算的金融学模型^[4],Yuan 等建立了基于多主体的交通仿真系统^[5],中科院自动化所搭建了以“云计算”为基础的社会计算环境。然而,这些模型、数据或平台之间缺乏共享与交互,尚未形成统一、通用的大规模社会计算实验平台和实验环境,无法满足不同领域的研究者对复杂社会系统全方位的建模需求。

此外,单个模型通常只能解决单一问题,难以满足社会系统的复杂建模需求。在这种情况下,组合多个模型被认为是复杂问题整体建模的新途径^[6]。集成建模在模型管理领域被认为是连接多个具有不同功能的模型,建立模型组合,并形成新的集成功能的过程^[7],较之单一模型建模,集成建模能有效提升决策支持系统的决策效率^[8]。集成建模须解决两个

到稿日期:2021-09-30 返修日期:2021-12-29

基金项目:国家重点研发计划(2021YFC0809905);国家自然科学基金(72174102)

This work was supported by the National Key R & D Program of China(2021YFC0809905) and National Natural Science Foundation of China(72174102).

通信作者:刘奕(liuyi@tsinghua.edu.cn)

问题:一是如何聚集、组织可用的模型以支持它们的共享与集成;二是如何发现、组合不同的模型以构建新的组合模型。

本文充分考虑社会计算领域的建模流程与需求,提出了多模型耦合集成建模方法,并基于该方法搭建了面向社会计算数据模型的交互共享集成平台,为研究者们提供了包括数据资源、分析工具和建模仿真计算环境的社会计算实验平台。该平台能够支撑模型的定制化开发与个性化表达,有效地帮助研究者实现其建模意图,并动态集成不同社会学模型以满足复杂系统建模的需求。

2 社会计算模型特征分析

社会系统建模一般包含两类模型:一类为物理计算模型,以数值计算为主,此类模型多用于计算宏观社会环境,由数学公式进行表达,著名的物理计算工具有计算流体力学软件 Open FOAM^[9]、火灾动力学模拟工具 FDS^[10]和结构力学有限元分析软件 ANSYS 等;另一类为多主体模型,将社会系统中的不同单元拆解成若干类型的主体,并为每个主体分配参数与行动规则,自底向上地构建多主体系统,著名的多主体建模工具有 Swarm^[11], Repast^[12]和 Netlogo^[13]等。

社会科学问题的复杂性往往无法用单个模型来描述,例如,一个研究社区火灾人员疏散问题的社会计算系统包含了火灾动力学模型、人员疏散模型和交通疏散模型等多个模型,并且若要对火场中的疏散场景进行精细刻画,还需要建立模型之间的数据交互,即模型的深度集成。

随着现代网络的广泛发展与应用,单个模型的共享与重用已经成为可能,大量组织、团体或个人也越来越倾向于分享其模型与数据。然而,要实现这些模型的深度集成并不容易,因为社会计算领域所使用的模型具有如下特征。

(1)高度异构性:社会计算作为跨学科领域,所涉及的模型多种多样,不同组织或团体根据自身的需求和领域背景开发模型,因此模型在背景知识、计算环境与输入输出接口格式等方面存在巨大的差异,彼此之间通常难以兼容。

(2)分散性:模型的开发者可能是政府组织、非政府组织或科研机构甚至个人。在地理空间上,它们大都是高度分散的,而模型位于这些提供者所拥有的本地管理系统中,只能依赖于网络被远程地访问或调用。因此,模型的共享与集成应用都将在社会范围内甚至全球范围内的分布式环境中进行。

(3)应用需求非一致性:不同组织关于模型的权限、代码开源程度、模型调用方式、数据传递形式、集成功能内容及其具体实现方案等方面都有特殊的要求。

根据上述模型特征分析,社会计算领域的模型集成是不同领域、不同问题、不同组织、不同模型类和不同应用需求下的多个模型实例的耦合。已有模型集成方法为解决模型的分布式与异构性问题提供了多种解决办法,例如, Tsai 将模型以数据管理的方式进行模型的管理与集成^[14],将模型之间的交互类比于数据实体之间的关联关系,从而构建模型库; Brito 等将模型作为本体进行管理,根据模型功能与约束条件的语义相似性实现模型的分类与管理^[15]; Othman 等提出了基于元建模框架的模型识别、选择与组合方法,实现了模型的分类、检索与再利用^[16]。网络技术的迅猛发展极大地促进了跨

地域的信息与资源共享,研究者们尝试将网络服务引入模型集成过程,形成了服务导向的模型集成架构与方法^[17]。模型被视为网络服务,具有特定的参数、执行方法、调用地址以及关于模型功能与约束条件的标准描述。基于通用的服务发现与共享机制,决策者能够轻松地搜索或发布模型。

在已有研究的基础上,本文提出了分布式异构的社会计算集成建模方法,以适应上述社会计算领域模型的特征。

3 社会计算集成建模方法

集成建模的本质是发掘不同模型的“协同力量”以进行复杂系统建模与分析。模型的“协同力量”指通过集成两个及以上模型的计算能力、计算功能和可视化等功能,实现模型之间的协同工作,从而对系统进行深度刻画。

3.1 POV 框架

本文提出一种无中心的模型深度共享与集成建模架构,主要由 3 个层次组成,分别是物理层(Physical Layer)、覆盖层(Overlay Layer)和虚拟层(Virtual Layer),本文将该框架简称为“POV 框架”,如图 1 所示。

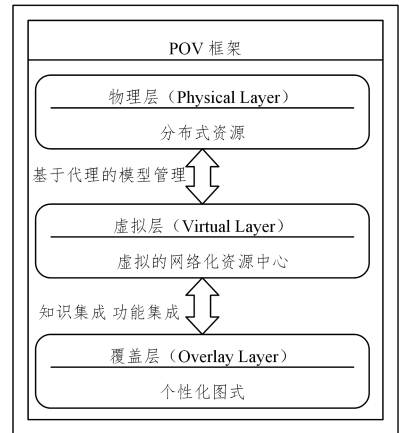


图 1 POV 架构

Fig. 1 POV framework

3.1.1 物理层

物理层是在物理层面建立模型与数据共享社区。在基于 P2P 模式构建的资源共享社区中,所有社区成员被赋予同等的权利,每个成员只负责存储、维护自己的模型或数据集,并控制所拥有的模型或数据集的访问权限。此外,每个成员可自由通过网络申请访问其他成员的模型或数据集,并根据自身需求选择性地与其他成员建立、发展合作关系。如此,原本分散的组织、个人及其模型与数据资源将通过自组织的方式“聚集”,形成一个网络化的、以资源共享与集成为主要业务的社区。

3.1.2 覆盖层

覆盖层旨在将资源共享社区中的资源实体(模型或数据)从物理空间剥离。剥离过程主要依赖于资源实体的概念化。在覆盖层中,考虑到每个模型或数据集可能存在独特的结构和数据格式,要求每个资源提供者负责为自己的模型创建概念化的图式。每个提供者根据个人对资源实体的理解和领域知识来描述所拥有的模型或数据集的功能与非功能性的特征与约束,而不必遵循统一的建模语言或标准化的描述模板。

如此,社区中的每个模型提供者将为自己的资源实体建立个性化的概念图式,而每个模型或数据集最终将对应一个唯一的概念图式,所有的图式共同形成资源社区的覆盖层。

3.1.3 虚拟层

虚拟层旨在关联分散的模型与数据图式,形成虚拟的网络化资源库。物理层的模型提供者可以通过访问彼此模型的图式,来了解对方模型的结构、功能与使用约束条件。若任意两个模型提供者试图建立协作关系,他们需建立彼此的模型图式之间的语义映射关系。同时,他们被允许自主地发掘彼此模型的协同力量,共同探索和创造两者模型之间可能合理的且有实际应用价值的集成功能,并根据双方的建模功能需求与约束条件,定制化地设计集成功能的具体技术实现方案。据此,模型提供者得以建立两两模型之间的协作关系。成对模型的语义映射关系与协作关系被映射至覆盖层,原本互不相关的模型或数据图式将被关联,形成一个图式网络。

3.2 虚拟资源社区

基于 POV 框架建立数据与模型的虚拟资源社区,虚拟资源社区是开放的分布式社区,没有明确的地理边界。资源共享社区的参与对象主要包括 3 类,即资源实体、资源提供者与资源使用者。资源实体可以是模型或数据集,由资源提供者带入社区中。模型可以是数学公式、仿真模型或决策支持系统,它可以是开源的或私有的。数据可以是历史数据或未来将产生的实时数据。

社区的运作与管理采用以下规则。在物理社区层内,每个资源提供者都是高度自治的,负责在本地管理自己所拥有的模型或数据源,决定是否共享其模型和数据。每个资源提供者可以选择性地与一个或多个其他资源提供者建立交互关系。如此,原本互不相关的社区参与者可以自发地关联,逐渐形成点对点的社区网络。此外,每个模型提供者或使用者可以自由地加入或离开社区,自主控制所拥有模型或数据的访问与使用权限。每个模型提供者同时充当服务端与客户端,例如,模型提供者在本地执行自己模型的计算任务,并按照约定的规则共享模型的计算数据,同时也可以从其他模型请求计算数据。为适应高度分布式的应用环境,所有社区参与者均基于网络服务进行数据传输与通信。在覆盖层和虚拟层中,每个模型提供者负责为自己的模型或数据源创建概念化的图式,并存储到本地系统;成对的模型提供者负责自主地定义彼此知识概念之间的语义映射关系,共同探索和创造彼此模型之间可能合理的集成功能,并共同商议和制定具体的集成功能与数据交互实现方案,建立结构化协作关系。

3.3 集成建模流程

基于 POV 框架及其建立的虚拟资源社区,本文设计了一套通用的社会计算集成建模流程,一般包括以下几个步骤。

(1) 提出问题。对所要研究的社会科学问题进行描述,判断该问题适合使用哪些建模工具进行仿真模拟或计算求解。

定义 1 一个社会计算问题 P 由若干个建模任务 T_i 构成,每个建模任务均可指定一个或多个建模工具 S_{ij} 来完成:

$$P = \{T_1: \{S_{11}, \dots, S_{1j}\}, \dots, T_i: \{S_{i1}, \dots, S_{ij}\}\} \quad (1)$$

(2) 分析建模需求。分析每个建模任务中需要用到哪些仿真模型,并根据建模任务直接的执行顺序以及模型的参数

调用关系来建立建模任务网络。

定义 2 建模任务网络是描述建模任务 T_i 与仿真模型 M_i 之间的关系的图示,一个建模任务网络可由三元组 T 描述:

$$T: (\mathcal{T}, \mathcal{M}, \mathcal{R}) \quad (2)$$

其中, \mathcal{T} 是建模任务集合, $T_i \in \mathcal{T}$ 是第 i 个任务; \mathcal{M} 是仿真模型的集合, $M_i \in \mathcal{M}$ 是第 i 个模型; \mathcal{R} 是模型与任务之间的逻辑关系集。

(3) 模型发现。根据每个建模任务的概念描述,对虚拟资源仓库中的模型图式进行语义匹配,在资源社区中定位、发现和匹配模型实例。

定义 3 模型的相似性 C_{ij} 是用来描述模型 M_i 符合建模任务 T_j 的程度,以建模任务与模型的语义相似度来度量,其中 $Corelation$ 为相似性度量函数。

$$C_{ij} = Corelation(M_i, T_j) \quad (3)$$

(4) 模型组合。将资源社区中发现的模型根据建模任务网络以及模型图式组合成一个深度集成模型。

(6) 仿真计算。为建立的深度模型配置参数方案,执行模型得到仿真算例与计算结果。

(7) 结果分析。对模型的执行情况进行评估,分析计算结果表征出了何种结论,是否为解决所研究的问题提供了支撑。

4 应用系统

基于上述集成建模方法,本文搭建了面向社会计算的数据模型交互共享集成平台,该平台旨在为社会计算领域的研究者提供一个包含数据资源、分析工具和建模仿真计算环境的通用实验平台,平台整体架构如图 2 所示。

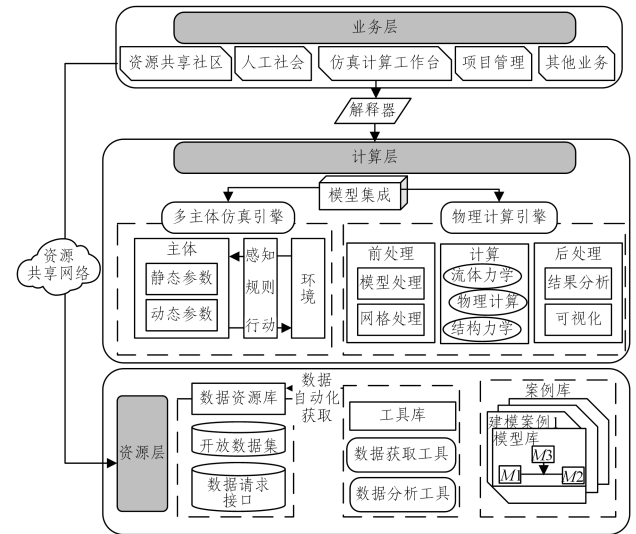


图 2 数据模型交互共享集成平台架构

Fig. 2 Framework of data-model integration platform

4.1 资源层

资源层由三大类资源库组成,分别为数据资源库、工具库与案例库,并采用虚拟资源社区的方式进行管理运作。数据资源库通过数据获取工具对网络空间中的开放数据资源进行自动化获取,通过建立知识图谱的方式对数据资源进行整理与集成,将可以直接获取到的数据资源整理成开放数据集列表,对于需要发起共享请求的数据资源,则建立数据请求接口

列表,由用户根据需求进行调用。

工具库集成了大量数据获取工具与数据分析工具,用户可自由上传和下载安装,部分软件工具通过云端部署的方式支持用户远程调用。案例库是对用户建模案例的集成,用户在平台上完成建模分析任务后,可选择将任务中建立的建模案例上传至平台进行共享,平台资源层将对案例资源进行存储与整理,对案例中建立的模型进行拆解,建立模型库。其他用户在进行相似问题的研究时,可在资源库中进行检索,平台将为用户匹配与之相似的建模案例,用户可基于现有的案例进行二次开发与计算,从而提高模型的复用性。

4.2 计算层

计算层为用户提供功能强大的计算引擎,分为物理计算引擎与多主体仿真引擎。物理计算引擎采用前处理-数值计算-后处理这种通用物理计算模式,集成多类物理计算工具与算法;多主体仿真引擎采用面向对象编程模式,为用户提供高度自由的主体编辑器以及丰富的主体模型资源,用户可基于已有的主体模型搭建多主体仿真环境,也可以进行深度的主体模型定制与规则开发,从而建立多样化的多主体模型。同时,计算层与资源层还基于 POV 框架,对仿真计算模型进行深度集成,从而支持复杂系统的多模型耦合建模。

4.3 业务层

业务层是平台与用户进行交互的窗口,基于资源层与计算层为用户提供大量的功能应用。仿真计算工作台是其中一个典型的应用,用户可通过图形交互界面进行模型开发。建立的模型将通过命令解释器传入计算层,由底层计算引擎进行仿真。用户也可以基于已有的模型进行数值实验,从而使

用户的研究更加聚焦于社会计算系统的搭建,减少底层模型代码的开发、调试和仿真控制等工作,从而更加高效地完成对复杂社会科学问题的研究。

“人工社会”是多主体仿真引擎为业务层提供的另一项功能应用,由大量深度开发的主体模型构成,以多种类型的主体构建一个虚拟的社会环境,为主体添加多种事件响应规则,从而模拟不同的情景事件。基于“人工社会”的用户可以进行大量的社会科学问题的研究。资源共享社区是基于资源层丰富的数据资源建立的网络社区,用户可自由上传、搜索、组合模型与数据,建立一个高效的数据互通环境,从而吸引更多的用户使用本平台进行社会计算的相关研究,成为领域内知识扩散的一种媒介。

4.4 案例应用

基于上述数据模型交互共享集成平台进行案例研究,假设某商业中心发生建筑火灾事故的地点附近有大型购物中心,地段繁华、人流量大,因此必须进行紧急火灾扑救、人员营救及区域人员紧急疏散行动。通过上文提出的集成建模流程对此案例进行分析,首先从历史案例与现有资料对该案例的建模任务进行拆解,从宏观决策来看,上述事件的应急处置涉及火灾演化预测、人员疏散规划和消防救援规划 3 项决策任务,进一步地,各项决策任务又涉及一个或多个关键建模任务的求解。根据具体建模功能的需求,可以为每个决策任务发现功能匹配的模型或模型组合。以模型关键字作为语义信息输入模型匹配窗口,可基于语义相似度匹配相应功能的模型,表 1 列出了所有建模任务的最终模型发现结果。

表 1 建模任务及模型发现结果

Table 1 Modeling tasks and model matching results

建模任务	功能需求	模型匹配	顺序
火灾发展过程预测	预测火场参数随时间的变化	火灾动力学模型	1
火灾影响区域预测	预测大厦是否会发生倒塌	结构力学模型	2
	预测火灾对临近建筑的影响	传热学模型	2
救援力量分配调度	选择区域救援力量为其进行交通路径规划	HTN 规划器	3
大厦逃生路径规划	规划大厦内逃生路线并协助人员逃离大厦	人员应急疏散仿真系统	3
人员营救路径规划	规划大厦内救援路线并协助营救被困人员	人员应急疏散仿真系统	4
区域步行疏散规划	规划区域步行疏散方案	行人疏散仿真系统	3
区域交通疏散规划	受伤人员至医院路径规划	交通疏散仿真系统	5
	机动车至安全区路径规划		3

根据建模任务的逻辑关系,可以将上述不同的模型连接起来,形成模型组合方案,并根据数据的传输关系,规划不同模型的执行顺序。平台将基于网络服务进行模型调用与数据共享。按照预定执行计划,平台以网络服务的形式发送命令,

依次调用不同的模型,执行面向特定决策任务的计算与仿真。仿真过程中,每个模型的计算结果被动态封装为数据服务,进行集成仿真与可视化。最终可在平台中查看与分析每个建模任务的仿真计算结果,如图 3 所示。



图 3 建模任务及仿真计算结果

Fig. 3 Modeling tasks and simulation results

较之单一的仿真模型,集成建模能够更全面地建模突发事件,提供全面的预测结果,帮助决策者挖掘更多隐藏的信息,从而以系统、整体的角度对处置方案进行规划或改进。综上,数据模型交互共享集成平台能有效地帮助研究者实现建模意图,完成仿真计算任务,从而实现对复杂系统的深度刻画。

结束语 本文提出了一个面向社会计算的集成建模方法,该方法包括分布式异构模型的深度共享与集成架构、模型发现与组合方法,能够为社会计算研究者提供从底层基础模型的使用到建立集成建模系统的全流程方法与技术指导,并基于该方法搭建了面向社会计算数据模型交互共享集成平台,为研究者们提供包括数据资源、分析工具和建模仿真计算环境的社会计算实验平台,为社会计算提供一个通用的研究工具。平台搭建初期存在模型少、应用场景不够丰富等问题,后续将在模型库搭建与多模型集成算法开发方面开展进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] WANG F Y, DENG D J, MAO W J. Social Computing: Its Significance, Development and Research Status[J]. *E-science Technology & Application*, 2010, 1(2): 3-14.
- [2] WANG F Y. Social Computing: Concepts, Contents, and Methods[J]. *International Journal of Intelligent Control and Systems*, 2004, 9(2): 91-96.
- [3] WANG F Y. Computational Experiments for Behavior Analysis and Decision Evaluation of Complex Systems[J]. *Journal of System Simulation*, 2004, 16(5): 893-897.
- [4] ZHANG W, LIU W C, WANG Q W, et al. The Modeling for the Complexity of Capital Market: Agent-Based Computational Experiment Finance [J]. *Modern Finance & Economics*, 2003, 23(1): 3-7.
- [5] YUAN S C, LIU Y, WANG G Q, et al. Research on meta-model of driver behavior in agent-based traffic evacuation simulation [C]//2014 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC). IEEE, 2014.
- [6] LANIAK G F, OLCHEIN G, GOODALL J, et al. Integrated environmental modeling a vision and roadmap for the future[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2013, 39: 3-23.
- [7] BLANNING R W. Model management systems an overview[J]. *Decision Support Systems*, 1993, 9(1): 9-18.
- [8] LIU S, DUFFY A H, WHITFIELD R I, et al. Integration of decision support systems to improve decision support performance

[J]. *Knowledge and Information Systems*, 2010, 22(3): 261-286.

- [9] JASAKH. Error Analysis and Estimation for the Finite Volume Method With Applications to Fluid Flows[J]. *Imperial College London*, 1996, m(8): A385.
- [10] FRIEDMAN R. An international survey of computer models for fire and smoke[J]. *Journal of Fire Protection Engineering*, 1992, 4(3): 81-92.
- [11] MINAR N, BURKHART R, LANGTON C, et al. The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-agent Simulations [J/OL]. *Working Papers*. <https://ideas.repec.org/p/wop/safiw/96-06-042.html>.
- [12] COLLIER N. Repast: An Extensible Framework for Agent Simulation [J/OL]. *The University of Chicago's Social Science Research*. <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/RepastTutorial.pdf>.
- [13] TISUE S, WILENSKY U. NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity [C]// *Proceedings of International Conference on Complex Systems*, 2004: 16-21.
- [14] TSAI Y C. Comparative analysis of model management and relational database management [J]. *Omega*, 2001, 29(2): 157-170.
- [15] BRITO H M, STRAUCH J, SOUZA J M. Use of Ontology of Models in Scientific Model Management [J]. *Environmental Software Systems*, 2014, 7: 300-311.
- [16] OTHMAN S H, BEYDOUN G. Model-driven disaster management [J]. *Information & Management*, 2013, 50(5): 218-228.
- [17] EL GAYAR O, DEOKAR A. A semantic service-oriented architecture for distributed model management systems [J]. *Decision Support Systems*, 2013, 55(1): 374-384.



WANG Qi, born in 1996, postgraduate. His main research interests include data driven and big data.



LIU Yi, born in 1973, Ph.D supervisor. Her main research interests include artificial societies and emergency management.

(责任编辑:喻黎)