



计算机科学

COMPUTER SCIENCE

在跨学科交叉融合中深发展社会计算与社会智能

孟小峰, 余艳

引用本文

孟小峰, 余艳. [在跨学科交叉融合中深发展社会计算与社会智能](#)[J]. 计算机科学, 2022, 49(4): 3-8.

MENG Xiao-feng, YU Yan. [Develop Social Computing and Social Intelligence Through Cross-disciplinary Fusion](#)[J]. Computer Science, 2022, 49(4): 3-8.

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)

[面向社会计算的集成建模方法与应用系统](#)

Integrated Modeling Method and Application System for Social Computing

计算机科学, 2022, 49(4): 25-29. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.210900257>

[P-数据模型与数据的智能获取](#)

P-data Model and Intelligent Acquisition of P-data

计算机科学, 2018, 45(5): 176-179. <https://doi.org/10.11896/j.issn.1002-137X.2018.05.029>

[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>

[具有属性析取萎缩-扩张特征的动态数据智能挖掘](#)

Dynamic Data Intelligent Mining with Attributes Disjunctive Reduction and Expansion Characteristics

计算机科学, 2015, 42(5): 215-220. <https://doi.org/10.11896/j.issn.1002-137X.2015.05.043>

在跨学科交叉融合中深发展社会计算与社会智能

孟小峰 余艳

中国人民大学信息学院 北京 100872

(xfmeng@ruc.edu.cn)

摘要 数智化的时代背景为社会计算与社会智能的发展创造了新机遇,跨学科交叉融合将是其深化发展的必然之路。文中阐述了社会计算的内涵与外延,探讨了社会计算的范式转移、社会计算与社会智能的发展,由此对数智化时代的社会计算与社会智能进行了展望,提出了构建基于新型基础建设的社会智能体系的三大支柱,包括构建大规模高时变的数据智能、融合多尺度伸缩的空间智能、形成复杂适应性的社会智能。数据智能、空间智能和社会智能呈现出层次递进关系,要求数据、计算和社会的三者交织,这也要求计算科学、数据科学、空间科学、复杂科学、社会科学等多学科多领域在理论与方法上交叉融合。随着数智化技术的快速更新及其在社会经济系统中的不断渗透,社会计算与社会智能必然会在跨学科交叉融合中寻找突破与深发展。

关键词: 社会计算;社会智能;数据智能;跨学科融合

中图分类号 N05

Develop Social Computing and Social Intelligence Through Cross-disciplinary Fusion

MENG Xiao-feng and YU Yan

School of Information, Renmin University of China, Beijing 100872, China

Abstract The era of digital intelligence offers new opportunities for the development of social computing and social intelligence. Cross-disciplinary fusion shall be a critical approach for its deep development. This paper elaborates the connotation and denotation of social computing, discusses the paradigm shift of social computing research, and the general development of social computing and social intelligence. Next, it looks forward to the social computing and social intelligence in the era of digital intelligence, and proposes three pillars for constructing a social intelligence system based on the new infrastructure. The construction of such an intelligent system is mainly composed by three components, including the construction of large-scale high-velocity data intelligence, the integration of multi-scale flexible spatial intelligence, and the formation of complex adaptive social intelligence. There is a level progression from data intelligence to social intelligence, in which data, computing and society are entangled. As such, computing science, data science, spatial science, complex science and social science are requested to interact from both theoretical and methodological perspectives. With the rapid update of digital-intelligent technologies and their penetration into the whole social-economic system, social computing and social intelligence is bound to seek breakthrough and deep development in the interdisciplinary cross-integration.

Keywords Social computing, Social intelligence, Data intelligence, Cross-disciplinary fusion

1 引言

2021年5月28日,习近平主席在中国科学院第二十次院士大会、中国工程院第十五次院士大会、中国科学技术协会第十次全国代表大会上指出:“当前,新一轮科技革命和产业变革突飞猛进,科学研究范式正在发生深刻变革,学科交叉融合不断发展,科学技术和经济社会发展加速渗透融合”。会上特别强调了以信息技术、人工智能为代表的新兴科技的快速发展,大大拓展了时间、空间和人们的认知范围,万物智能互联塑造了新型的数字社会。因此,作为典型的交叉学科,社会

计算和社会智能将迎来新的机遇与挑战。

我国正在进入万物互联的数智化时代。国家强调要加快5G、数据中心的新型基础设施建设,并指明要从系统论出发优化经济治理方式,加强全局观念,在多重目标中寻求动态平衡,在高质量发展中实现系统优化。在数智化时代,数据累计达到了前所未有的深度与广度,数据基础设施已然在社会经济系统中发挥关键作用,例如数智化赋能我国在应对新冠疫情中实施精准防控措施。如何基于该数据基础设施,将社会科学研究与大数据、人工智能技术交叉融合,从传统的体系中跳出来,依据数字社会形成的材料与结构,找出新的现象与

到稿日期:2022-02-16 返修日期:2022-03-12

基金项目:国家自然科学基金(72172155,91846204)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China(72172155,91846204).

通信作者:余艳(yanyu@ruc.edu.cn)

管理等,这些挑战关涉社会计算的“新方法”和社会智能的“新应用”。

3 社会计算研究范式转型

若要充分利用时代背景,抓住机遇,迎接挑战,就必须实现科学范式的转移。在人类认知史上,科学研究范式随着新事物的涌现而不断演化,继实验科学、理论科学和计算科学之后,随着海量数据的累积和超级计算能力的出现,数据密集型科学,即“第四范式”产生。该范式受自然科学的启发,作用于社会科学,通过对海量数据的分析发现新规律和新知识。但该研究方法应用于复杂的社会科学时仍有偏差,现有数据在粒度、广度和密度上的感知能力在完成社会计算、实现社会智能方面尚有不足。

云计算和大数据技术成就了第四科学范式,后大数据时代的万物互联技术也将为应用于社会科学的“第五研究范式”提供基础。随着物联网、5G 等技术的不断发展,智能万物互联等信息技术将通过更为完善的数据采集方式,以更加丰富细腻的方式描述社会现状,推动社会科学的研究者们从更广的角度了解人和社会。同时,中国社会城市化、国际化、工业化、市场化和扁平化的发展趋势,恰与万物互联技术的“连接”特征一致,为充分发挥万物互联技术的作用、丰富人类社会数据、革新社会科学方法提供丰厚沃土。

由此,为实现社会计算研究范式转型,我们应充分考虑以下两个方面。一方面,社会计算应当充分把握与生俱来的技术和社会优势;另一方面,社会计算不应一味地向自然科学看齐,而是基于对现实世界的准确描述,构建自己的理论框架,形成自己的方法论。新的研究范式将以大规模数据为基础,综合集成不同学科的方法,旨在挖掘新的社会需求,丰富新技术内涵,在促进交叉学科研究的同时,推动社会智能的形成与发展。

4 从社会计算到社会智能

社会计算的涌现是对工业化挑战所作出的回应,而“数据”则是一个学科是否成熟的标志。随着 5G、大数据、人工智能、移动互联、云计算等新型互联网技术的飞速发展,我们正在步入一个全新的“数字社会”,其中数据基础设施和人工智能技术为社会计算向社会智能升华奠定了基础。随着数字化与智能化技术的快速更迭和深化,各类社会问题的数量化和实时化分析变得日益迫切和重要。国际上大型计算方法的研究和应用有从传统的科学学计算、生命或生物计算扩展到社会计算的趋势。1987—2018 年,美国国家自然科学基金的资助趋势显示,跨领域团队获得资助的比例稳步增长,其中与社会科学领域的合作比例升速最快^[12]。2020 年,Lazer 等在《科学》上再次呼吁计算社会科学的发展需要建立数据基础架构,加强协作和数据共享^[13]。数据基础建设与数据共享已然是推动美国近 30 年来科学进步的核心要素^[14]。

信息技术的发展使得数据的产生方式、数据的形态和特征发生了转变。数据的产生方式经历了 3 个阶段:第一阶段是数据源被动产生的运营式系统,其数据规范、有秩序,更强调数据的一致性;第二阶段是数据源主动产生的互联网系统,

其数据结构复杂、无秩序,不强调数据的一致性或只强调弱一致性;第三阶段是数据源自动产生的感知式系统,其数据呈现多源异构、分布广泛和动态演化等特点。随着数据产生方式的演变,数据形态经历了从数据库到数据空间再到数据湖 3 个阶段^[15]。

在数智化时代,数据特征在粒度、广度和密度 3 个方面发生了转变。数据采集愈发多样,数据在个人移动设备、穿戴式设备、传感设备上源源不断地主动产生,数据结构复杂,数据量加速增长,形成数据湖。针对海量数据,人们力图“理解数据”,由此发展出基于数据驱动的人工智能技术。这些转变对社会计算的深度和广度造成了影响。2021 年,Buyalskaya 等在《PNAS》上发表了题为“The Golden Age of Social Science”的文章,表明社会科学正在进入一个黄金时代,该时期社会科学的特点是新数据和跨学科融合分析方法呈现爆炸性增长,新要素对解决世界性的挑战问题提供了新思路与解决之道^[12]。

对于建立在数据基础设施上的“数智社会”,一方面,人工智能技术是社会智能的重要支柱;另一方面,万物互联所形成的社会思维体系是社会智能的巨大动力。社会思维是社会人群中人群的集体思维,它不是思维个体的简单叠加,而是一定范畴的人们在按一定内在规律相互联系、相互影响和相互作用的基础上形成的一种具有相同特性的社会思维。当群体进入社会思维状态后,其思维能力将大大提高,实现跨越,涌现出集体智慧。社会智能的哲学基础在于社会思维和集体智慧(或称群智),从定性到定量的综合集成方法和应用则是发展社会智能的关键途径^[16]。

在以新兴信息技术为基础的社会智能体系下,智能社会和智慧社会的形成是必然。智能社会是一种虚实结合的高科技社会,它建立在高度发达的信息科技、智能科技的基础上,是信息科技、智能科技广泛应用于经济、政治、文化、社会等领域,重建或“再结构”整个社会的产物^[17]。例如,德国“工业 4.0”和美国“工业互联网”旨在通过虚拟-实体系统,通过人工智能、机器人和先进数字技术来实现智能制造,掀起“再工业化”浪潮。英国以《数字英国》(2009 年)和《英国数字战略》(2017 年)将构建数字化基础建设作为国家战略,以期通过数字技术创新重塑国家竞争力。日本则在《第五期科学技术基本计划》中提出“超智能社会”(Super Smart Society),力图通过信息技术来促进日本产业创新与社会变革。

在中国,2017 年十九大报告也早已提出“智慧社会”的先进发展理念,是智能社会的升华。一方面,智慧社会是以大数据、人工智能等数字科技的发展与应用为基础形成的高度自动化、智能化的社会形态;另一方面,智慧社会建设的核心是通过制度框架变革激发全社会的创造力,以适应知识生产的需求和规律,具有创新性、包容性和开放性。在行动上,在我国新型基础设施的战略布局和快速推进下,中国社会即将或正在进入社会智能体系支撑下的智慧社会,社会不再以一般劳动力为中心,智能机器人、无人驾驶汽车等智能应用将得到大规模使用,构筑智能与智慧社会的核心技术便在于新型的社会计算。

5 数智化时代的社会智能体系建构

社会计算的发展和社会智能体系的构建离不开计算科学、数据科学以及社会科学的交叉融合与协同发展,计算科学与数据科学的发展动向对社会计算与社会智能的前沿方向起到引领作用,社会科学反过来为计算科学与数据科学提供灵感和理论指导,从而形成数据、计算和社会之间的双向交互。数智化时代下,社会计算研究应基于数据基础设施来完成去中心化的架构,将人工智能、空间计算和复杂科学方法融会贯通,实现新时代的社会计算任务,进而构建由“数”到“智”的社会智能体系。这套体系主要包含3个方面的内容:大规模高时变的数据智能、多尺度伸缩的空间智能和复杂适应性的社会智能。

5.1 构建大规模高时变的数据智能

随着数字社会程度的推进,对数据的使用也提出了更高的要求。数据智能旨在对大规模数据进行获取、处理和分析,挖掘数据蕴含的信息或知识,使数据拥有智能。因此,构建大规模高时变的数据智能主要体现在以下两方面。

(1)大规模数据融合与管理。通过社会智能感知的数据具有2个重要特征:1)数据具有跨媒体、跨领域、多源异构的特点,对数据与知识的智能发现与分析融合提出了挑战;2)数据收集的深度、广度和粒度不断增大,其蕴含的数据价值不断累积,如此海量的数据为社会计算的研究创造了丰富的社会条件,但对长期数据的分析和挖掘带来了挑战。长期历史数据由于受管理能力的限制,其数据价值随着时间的推移呈现逐年递减的态势,如同矿业领域的煤矸石一样,不能被高效利用。但这些数据本身的价值是随着时间累计层叠增加。如何从这些历史数据中分析挖掘社会问题,从而构建面向数据的智能体系十分重要。基于该体系,我们可以进行日常社会与复杂系统的模拟与仿真,以更容易地发掘人类社会的活动规律与问题。此外,数据智能体系离不开存储问题,这主要从存储优化的角度来提高整体的数据访问性能,结合数据特性,通过时空优化的内外存协同存储与索引机制来保证数据存储的合理性及高效性^[18]。

(2)高时变数据的实时交互分析。数智化时代背景下,个人和社会数据源源不断地产生,对这些数据进行在线、实时的交互分析,有助于社会异常现象的发现与应对,例如,新冠疫情背景下的社会新问题的发现与应对,以及社会关系的动态演化。但海量流数据除实时处理需求外,随着社会关系与对象的动态演化,增大了数据分析融合过程中的实体和关系的判别难度以及数据的分析难度。该问题的核心是如何高效地进行大规模流式处理和分析,以期能够快速“抓现行”。其本质为“大”数据中发现“小”概率的社会事件,这要求数据管理与分析系统具备实时智能分析的能力。当新的社会异常产生后,应能对它进行及时且合理的验证,以便于该社会问题能得到有效的处理。该过程一方面要求形成集发现和验证于一体的流水线,排除噪声事件,要求模型给出的候选体结果具备可解释性;另一方面需要与基于历史的社会计算资源结合,以便做出准确的实时分析。因此,数据智能融合提供可粒度缩放、可跨界关联、可全局融合视图的全景式数据融合机制^[19],

以实现面向高时变数据的实时交互分析。

5.2 融合多尺度伸缩的空间智能

空间和地理数据及空间计算是人们认识社会的另一个关键视角,其不仅是大数据和人工智能研究的一个主要组成领域,也为社会科学从本体论、方法论和认识论层面提供了一个进行定量和定性研究的重要维度^[20]。空间计算综合了复杂性和复杂系统、信息论和数据科学、数据建模与仿真、信息可视化、赛博空间、本体论、语义计算等技术,以支撑社会计算急需解决的问题^[21]。因此,空间计算本身即是一门多学科交叉的研究领域,通过不断深化空间计算理论,通过智能化方法来解决各类社会问题,典型场景包括智慧城市、人口移动、智能交通、防灾应急、传染病防御、智慧能源、智能国土规划等^[22]。将空间计算融合于社会计算中,一方面由于空间计算存在社会科学的理论基础,即“空间”乃构成社会的一个重要维度;另一方面则源于空间计算在数据获取及数据处理方面的巨大优势,为社会计算提供了新的数据源。

数智化时代下的空间计算建立在空间数据科学的基础上。空间数据科学侧重研究数据的空间位置、空间距离、空间交互等空间特性,在大数据和人工智能技术的基础上开发空间数据的存储、检索、探索、分析和可视化方法。空间数据呈现多源异构形态,灯光、POI、手机信令等各类地理空间数据已被用于刻画社会情境,可生成宏观、中观、微观等多尺度的关键变量,尤其在收集、处理和分析面向大尺度的社会科学问题时具有显著优势。多源空间数据和空间计算方法(如空间相关性、空间可视化、地理编码等)为理解社会问题另辟蹊径,有助于发现社会现象的时空分布及其演变规律,从而解决社会系统的复杂自适应性问题^[20],进而有益于形成尺度可伸缩的空间智能体系。与此同时,我们也应意识到虽然针对空间社会计算的“数据”和“模型”的研究很多,但针对其“计算”本身的研究还远远不够。多尺度伸缩的空间智能还依赖于可信智能计算技术,如计算安全性、隐私保护、算法可解释性和公平性等。

因此,CAAI社会计算与社会智能专委会于2021年11月特别成立了空间计算学组。该学组以多维空间数据和空间计算方法为抓手,融汇多理论、多方法,将空间思维融入社会计算。在数智化时代,空间计算可以在以下几个方面为构筑社会计算与社会智能做出贡献:完成空间敏感数据的表示、共享;刻画城市空间结构与社会阶层的相互作用;使用大数据和空间计算分析社会现象^[20]。这些方面有助于社会计算在空间维度上与各学科进行交叉融合,进而加强面向场景的社会智能。

5.3 形成复杂适应性的社会智能

在数智化过程中,社会像素向更细粒度发展并极大地提升了社会的数字成像^[23],大数据技术通过对海量数据的快速收集与挖掘、分析与共享,为面向社会智能体系中的科学决策和准确预判提供了有力手段。数智化促进了人工社会的形成。物理社会与人工社会之间不断交织,构成了巨大的更为复杂的社会物理系统。因此,数智化下的社会智能应具有复杂的适应性,面向不同主体、群体挖掘其演化规律,并提供与主体适配的智能解决方案。

复杂系统由大量的个体构成,由于个体之间的相互作用,复杂系统不是个体性质的简单相加,而呈现关联、合作、涌现等集体行为,它具有非线性与动态性、非均衡、非周期性和开放性等一系列特征^[24],表现出了“多而生不同(More is Different)”^[25]。复杂性科学是运用非还原论方法研究复杂系统,从而产生复杂性的机理及其演化规律的科学,其兴起和发展代表了一次重要的科学思维变革,并充分体现了学科交叉融合的特点,它涵盖了非线性科学、混沌理论、分形学、模糊学、信息论、控制论、自组织理论、系统论和耗散结构论等不同分支学科的内容^[26]。复杂科学的常见建模方法包括基于主体的建模、元胞自动机、蚁群系统、进化算法、神经网络、机器人学、分析学、图形学、群体智能等。

我们所处的社会经济系统和网络空间系统共同构成了一个新型的复杂巨系统。这是一个多层次的开放系统,物理社会与网络空间不断交互,在发展过程中不断从周围吸收能量与知识,学习进化,对自身结构进行重构,以适应动态变化的环境,充分体现了复杂系统的自组织性和复杂适应性。随着数据科学和人工智能技术的快速发展,复杂性科学与人工智能相得益彰,复杂性科学可以将已有的建模方法与人工智能相融合,通过数字孪生建立高维仿真系统,在增强数据处理能力的同时提升模型的拟合程度,以此形成具有高水平事件预测、预判能力以及风险识别能力的社会智能。例如,社会、经济、管理领域的典型问题包括复杂社会经济系统演化、高阶复杂网络建模与分析、数字社会下人的个体行为及其交互与群体行为的涌现规律、技术与管理的互动规律等^[27]。而这些恰恰也是社会计算与社会智能面向复杂社会系统的目标,例如结合图表示与深度学习算法,对数智化下的大规模复杂社会系统进行网络化建模与学习,智能识别数智社会中的规律以及潜在风险,并采取及时有效的干预策略。

此外,在高适应、智能化的复杂社会系统中,需要设计基于社会计算的自动决策与人工决策协调机制,形成有序的社会智能机制,以进行个体与社会、历史与现实、规律与异常相结合的复杂社会管理系统。社会智能不能完全依靠自动决策,我们有必要将数据层的数据隐私问题、算法层的公平与可解释问题、应用层的数据垄断问题,以及整个复杂系统中的大数据治理问题纳入人机协调机制的设计与实施。社会计算能够综合考虑这些问题,寻找复杂智能系统的数据治理方法,同时在智能过程中合理分配人机任务并结合人工的作用,平衡人工决策和自动决策过程中存在的不同程度的偏见与误差,提高结果的可解释性,对复杂管理系统进行智能优化,从而获得更全面的社会智能决策结果。同时,在具有复杂适应性的社会智能体系中,厘清社会系统中各要素的因果关系也至关重要,应将关联分析法、干预法、反事实法等因果推断方法嵌入其中。

结束语 社会计算作为一个研究领域,必然会随着数字技术和经济社会的发展而改变。当今,数据科学和计算科学的蓬勃发展使得社会科学进入一个黄金时代,其特点是:新数据和跨学科融合分析方法的快速增长,数据作为新要素为解决复杂社会系统中的问题提供了新思路与新方法。社会计算在大数据、人工智能背景下既迎来了发展

机遇,也面临着新的挑战。

社会计算兼具“社会+技术”的特点,其发展要从根本上顺应技术和社会趋势,在数智化驱动下完成科学研究范式的转移,树立起交叉学科典范。社会计算本身作为计算科学和社会科学之间的一个跨学科领域,未来最大的贡献也许来自于其他领域,从计算科学、数据科学、认知科学、社会科学领域之前的碰撞和对话中共同产生超乎想象的社会系统,通过学科交叉,促成社会计算研究范式的转变,完成社会计算的方法论革新。数智化时代的计算模式发展和智能万物互联为社会计算的科学研究范式转移提供了动力,为构造新型社会智能奠定了基础。社会计算和社会智能有可能在“技术推动社会发展,社会丰富技术内涵”的相辅相成机制中形成根植于本领域的科学研究范式。

参 考 文 献

- [1] FAN R G. The Big Data/Social Computing Methodological Revolution in Public Management Studies[J]. Social Sciences in China, 2018(9): 74-91, 205.
- [2] WANG G Y, QU Z, ZHAO X L. Practical Exploration of Discipline Construction of Artificial Intelligence + [J]. Computer Science, 2020, 47(4): 1-5.
- [3] MENG X F, LI Y, ZHU J H. Social Computing in the Era of Big Data: Opportunities and Challenges [J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(12): 2483-2491.
- [4] BUSH V. As We May Think[J]. The Atlantic Monthly, 1945, 176: 101-108.
- [5] SCHULER D. Social Computing [J]. Communications of the ACM, 1994, 37(1): 28-29.
- [6] WANG F Y. Artificial Societies, Computational Experiments, and Parallel Systems: A Discussion on Computational Theory of Complex Social-Economic Systems [J]. Complex System and Complexity Science, 2004, 1(4): 25-35.
- [7] WANG F Y, LI X C, MAO W J, et al. Basic methods and applications of social computing [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2013.
- [8] LAZER D, PENTLAND A, ADAMIC L, et al. Computational Social Science[J]. Science, 2009, 323(5919): 721-723.
- [9] CONTE R, GILBERT N, BONELLI G, et al. Manifesto of Computational Social Science [J]. The European Physical Journal Special Topics, 2012, 214(1): 325-346.
- [10] MENG X F. Computational Social Science and the Burgeoning Artificial Intelligence [J]. People's Forum · Academic Frontier, 2019(20): 32-39.
- [11] WANG G C. Computational Social Science: Development Status and Prospect[N]. China Social Science Journal, 2020-08-18(4).
- [12] BUYALSKAYAA, GALLO M, CAMERER C F. The golden age of social science[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2021, 118(5): 1-11.
- [13] LAZER D, PENTLAND A, WATTS D, et al. Computational Social Science: Obstacles and opportunities[J]. Science, 2020, 369(6507): 721-723.
- [14] YU Y, IBARRA J, KUMAR K, et al. Coevolution of Cyber-infrastructure Development and Scientific Progress[J]. Techno-

vation, 2021, 100(102180): 1-16.

- [15] MENG X F, WANG L X, LIU J X. Data privacy, monopoly and fairness for AI[J]. *Big Data Research*, 2020, 6(1): 35-46.
- [16] DAI R W, LI Y D, LI Q D. *Social Intelligence and Metasynthetic System*[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2013.
- [17] SUN W P. *Intelligent Society: The Foundation and Condition of the Construction of Communist Society* [J]. *Studies on Marxism*, 2021(1): 48-56.
- [18] MENG X F, MA C H, YANG C. Survey on Machine Learning for Database Systems[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2019, 56(9): 1803-1820.
- [19] CHEN G Q, WU G, GU Y D, et al. The challenges for big data driven research and applications in the context of managerial decision-making: Paradigm shift and research directions[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(7): 1-10.
- [20] LE Y, LIU Y, CHEN Y S, et al. Integration Path of Spatial and Geo-Computing and Computational Social Science[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(1): 1-18.
- [21] TORRENS P M. Geography and computational social science [J]. *GeoJournal*, 2010, 75(2): 133-148.
- [22] SONG X, GAO Y J, LI Y, et al. Spatial Data Intelligence: Concept, Technology and Challenges[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2022, 59(2): 255-263.
- [23] CHEN G Q, ZENG D J, WEI Q, et al. Transitions of Decision-Making Paradigms and Enabled Innovations in the Context of Big Data[J]. *Management World*, 2020, 36(2): 95-105.
- [24] SONG X F, YANG L X, CAO Q R. The Research Progress of Complexity Science[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [25] ANDERSON P W. More is Different: Broken Symmetry and the Nature of the Hierarchical Structure of Science [J]. *Science*, 1972, 177(4047): 393-396.
- [26] ZHANG J H, CHEN Z F, REN Z G, et al. A Review on Complexity Science and its Application to Economics: Based on Supported Projects and Related Research[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(11): 117-126.
- [27] WANG S Y, HU Y, XIONG X, et al. Complex Systems Management: Theory and Methods[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(8): 1-9.



MENG Xiao-feng, born in 1964, Ph.D, professor, Ph.D supervisor, is a member of China Computer Federation. His main research interests include data intelligence, data governance, social computing and social intelligence.



YU Yan, born in 1980, Ph.D, associate professor. Her main research interests include knowledge management, digital innovation and societal intelligence.

(责任编辑:李亚辉)