

面向城市复杂系统的社会计算关键技术研究

贾晓丰¹, 高嵩¹, 江茜¹, 齐红威², 王晓^{3,4}, 张俊^{4,5}, 秦蕊³, 欧阳丽炜³

- (1. 北京市大数据中心, 北京 100101;
2. 数据堂(北京)科技股份有限公司, 北京 100192;
3. 中国科学院自动化研究所, 北京 100190;
4. 青岛智能产业技术研究院, 山东 青岛 256200;
5. 武汉大学电气与自动化学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 城市复杂系统存在要素众多分散、关系复杂多维、结构动态变化且社会功能耦合度高等特点, 其中实时全域数据感知、分级分权协同调度、复杂动态关系构建是城市复杂系统精准建模与精细管理的关键问题。基于 ACP 平行智能方法的社会计算为解决上述问题提供了理论基础。基于此, 面向城市复杂系统大规模、多模态、高维度、全要素进行建模, 基于虚实对偶平行调控的链码机制, 提出社会计算关键技术并设计其系统架构, 实现城市复杂系统的全域链通和多态应用。该架构可以为面向未来的分布式、智能化、主动响应的复杂城市管理提供重要范式。

关键词: 城市复杂系统; 社会计算; 平行智能; 链码机制

中图分类号: F49

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.202124

Research on key technologies of social computing for urban complex system

JIA Xiaofeng¹, GAO Song¹, JIANG Xi¹, QI Hongwei², WANG Xiao^{3,4},
ZHANG Jun^{4,5}, QIN Rui³, OUYANG Liwei³

1. Beijing Big Data Centre, Beijing 100101, China
2. Datatang (Beijing) Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China
3. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
4. Qingdao Academy of Intelligent Industries, Qingdao 256200, China
5. School of Electrical Engineering and Automation, Wuhan University, Wuhan 430072, China

Abstract: Urban complex system has the characteristics of multiple scattered elements, complex multi-dimensional relationships, dynamic structural changes and high degree of social function coupling. Real-time global data perception, hierarchical decentralized collaborative scheduling and complex dynamic relationship construction are the key issues of accurate modeling and fine management of urban system. The social computing technologies based on ACP parallel intelligent method provides theoretical basis for the problems. Based on this, the large-scale, multi-modal, high-dimensional and total factor modeling of urban complex system was carried out. Based on the chain code mechanism of virtual-real dual parallel regulation, the key technologies of social computing were proposed and its system architecture was designed to realize the global chain communication and polymorphic application of urban complex system. The architecture can provide an important paradigm for the oriented distributed, intelligent and active response of complex urban management in the future.

Key words: urban complex system, social computing, parallel intelligent, chain code mechanism

收稿日期: 2021-05-08; 修回日期: 2021-06-12

通信作者: 王晓, x.wang@ia.ac.cn

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目 (No.2018AAA0101401)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2018AAA0101401)

1 引言

城市系统是一个典型的复杂巨系统^[1-3]，不仅包含企业、社区、楼宇、桥梁、道路等多种静态要素，还包含人员流动、车辆行驶等运行状态，以及人一企一物之间的交互等大规模动态要素；不仅具有复杂性、不确定性、多样性等复杂系统的典型特征，还具有实时性、成长性、快速性、交互性等重要特征。这些要素不是孤立存在的，而是具有复杂的关联关系的^[4-5]。对城市复杂系统中的全要素及其复杂关系的研究是当前科研和工程的重要方向^[6-9]，对于重大公共事件（如疫情的溯源、流调及精准防控）具有重要的现实意义^[10]。

2020年以来，党中央、国务院围绕“数据要素”“数据流通”“数字经济”密集出台了一系列政策措施。2021年3月，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确提出要完善城市信息模型平台和运行管理服务平台，构建城市数据资源体系。然而，虽然消除“孤岛”工作已推动了近二十年，但如何在保护隐私的情况下实现数据的安全、有序流动依然是制约城市复杂系统运行和发展的瓶颈问题^[11-14]。

为了解决网络化复杂社会系统的建模、分析、管理和控制问题，王飞跃等人提出了一套基于ACP（即人工社会（artificial societies）、计算实验（computational experiments）、平行执行（parallel execution））方法的社会计算理论体系^[15-18]。该体系的主要内涵是基于大数据、多智能体建模等技术和ACP方法，利用人工系统对复杂社会单元、过程及系统进行建模，通过计算实验对复杂社会场景进行分析和评估，并借助平行执行对复杂问题进行引导和管理^[19-22]。目前，社会计算技术已在安全生产^[23]、社会安全、城市交通^[24-27]、应急管理^[28]等领域进行了实践应用，在一定程度上提升了城市管理智能化和精益化水平。该理论及应用为解决城市复杂系统下的实时全域数据感知、分级分权协同调度、复杂动态关系构建等关键问题提供了理论基础。

本文将从社会计算和复杂系统管理与控制理论出发，提出面向城市复杂系统的社会计算系统架构及其关键技术问题，为复杂城市管理提供参考。

2 关键问题

大数据、云计算、区块链、人工智能、隐私计

算等新一代信息技术的快速发展和应用有效提升了城市复杂系统的智能化、精细化管理水平^[29-31]，但同时也带来了新的问题。在城市级的尺度上，单点的效率提升与整体的效率提升在一定程度上是互斥的，这就造成起步越早、整合越强、应用越好的领域反而成为城市复杂系统中越庞大、越牢固、越独立的“孤岛”。加之数据的行业壁垒及隐私性和安全性要求使得领域内部统筹易、领域之间打通难，从领域层面上升到城市层面的体系化设计是城市复杂系统全要素管理和配置的关键^[32]。

基于此，城市层面的核心难点不在于量级巨大，而在于以下3个方面：一是要素众多，全域完整性难掌控；二是关系复杂，动态耦合性难匹配；三是场景多维，需求成长性难预测。因此，城市复杂系统管理与控制的关键是实现多模态数据和多模态场景之间的动态匹配。首先，城市数据跨领域、跨层级、跨主体的高效、有序、低成本流动难以实现，虽然国内外不同机构和组织在各类场景进行了大量探索试验，但均未在城市级下解决这一痛点问题；其次，城市级复杂场景下大规模数据精准定位慢，敏感数据无法安全高效地流通和使用，限制了多数据源之间的联合建模与协同计算，导致能够真正用于场景应用的数据源匮乏，城市级复杂场景的数据动态耦合难以实现；最后，场景的复杂性和成长性导致应用需求高频动态变化，当前主要依赖于人工方式完成业务需求与数据需求之间的连接和解释，缺少多模态数据和多模态场景之间的自动匹配和迭代。

目前，传统的技术体系难以支撑城市级复杂场景的计算，尤其在大规模数据源的管控调度、多主体的协同计算、数据和场景的动态匹配等方面存在公认难题。现有领域级的方法论和技术架构放大到城市级不再适用，因此迫切需要从城市复杂系统的角度建立新的技术体系，实现对城市复杂系统中人、企、房、车、城市部件等各类要素的统一管控，解决城市级复杂场景下的数据感知、控制、调度、计算等核心问题，为各类社会主体提供全域、全场景的数据服务，推动城市管理向分布式、智能化、全响应的模式转变。

3 面向城市复杂系统的社会计算系统架构及关键技术

面向城市级的大规模、多模态、高维度、全要

素建模,本文创新性地提出了一种面向城市复杂系统的社会计算系统架构,如图1所示。该架构以基于虚实对偶平行调控的链码机制为基础,通过基于数据探针的多模态数据感知与调度、基于联邦控制的多主体异构隐私协同计算、基于场景自适应的复杂关系构建与动态学习等关键技术,建立了物理世界全要素实体与数字世界多模态数据之间的百亿级时变关系映射,从而实现城市复杂系统的全域链通和多态应用,在技术上满足面向特定场景“零容错”需求的“绝对可靠性”。

为了解决城市系统复杂场景中产生的超大体量、分布式、多模态、动态变化数据因隐私敏感、高度耦合、孤岛林立和定位困难而难以实时鉴真和入链的问题,通过可自动抽取、集成、转换、映射和封装多源多模态数据的轻量级技术,对包括文本、消息和API在内的多种结构化和非结构化数据源进行灵活、快速、跨域和无侵入式感知和传输。基于特征识别的数据目录自动生成和校正,可基于场景对特征稀疏和缺失的城市多模态数据进行探测、识别和匹配,实现人机语境下业务语言和机器语言的自动转换,以及对城市全域主体多源异构数据的实时链上锚定和变化感知。通过探针、编码及访问控制合约,可对城市隐私敏感数据进行分级授权,并对城市高噪声分布式数据进行精准调度。

为了解决城市复杂场景多态应用中多方多级多粒度异构隐私敏感数据难以联合计算和动态耦合的问题,基于联邦控制建立异构隐私信息网络系统(heterogeneous privacy information network system, H-PINS),实现数据可用和场景可控。在H-PINS的全域数据分布式管控架构中,将城市跨领域、跨层级、跨主体、跨系统数据中的每个数据采集单位看作城市复杂系统下的执行子节点,每个子节点在链码控制下可自主授权、传输和计算数据,并实现计算结果的联合建模。基于智能合约的多方交互管理和控制使得城市复杂系统中所有数据的调度、传输和计算过程全程可溯。该架构可兼顾城市复杂场景中多主体对数据安全和效率的不同需求,实现大规模多源异构数据的多方联合建模和高效隐匿查询,以及在保护个体隐私前提下的多源多维动态分析和管理。

针对城市实体空间难以统一标识,复杂关系难以智能抽取、动态匹配,以及关系推理难以具备可解释性等问题,基于事件驱动建立复杂场景动态关系图谱。首先,将城市多态应用中的事件关联至城市实体,再在时间和空间维度进行赋码,实现对城市实体在物理世界的唯一标识和动态定位。其次,通过实体链接、无监督聚类 and 关系传递等方法构建空间向量模型并抽取语义特征,计算城市复杂系统中各类实体的相似度,实现城市级实体消歧,完成

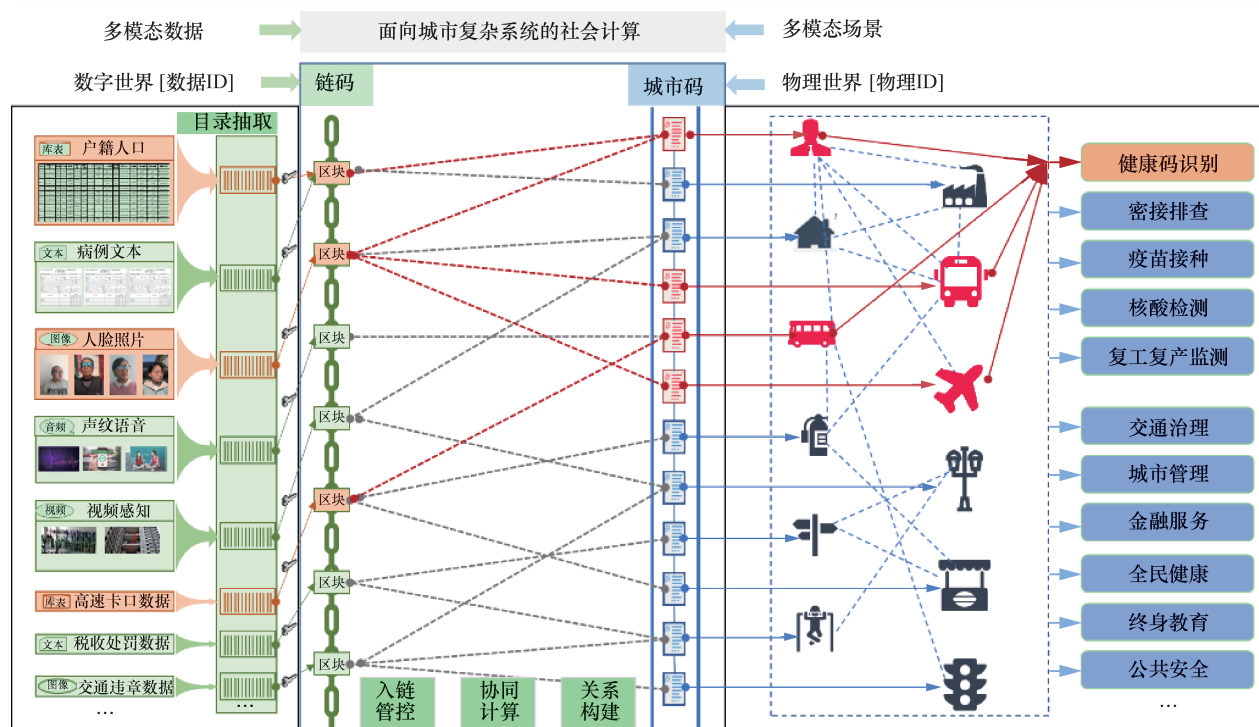


图1 面向城市复杂系统的社会计算系统架构

从数据到实体概念模型的映射。最后，通过无监督冷启动标注技术、弱监督预标注技术和少监督精标注技术对数据进行“无标签”“弱标签”“部分标签”“全标签”的分阶段标注，并在此基础上通过改进的深度神经网络对城市实体关系进行自动标引、抽取与建模，建立城市级动态关系图谱。

4 复杂城市管理中的应用分析

大规模公共卫生事件的实时、联动应急响应是复杂城市管理的一个典型场景。新冠肺炎疫情全球暴发以来，呈现出速度极快、传播范围极广、感染率极高等特点，部分地区出现聚集传播、多代传播等情况。利用城市级的大数据能力，降低病毒传播速度、缩小病毒传染范围、减少病毒感染人数、控制病毒传播途径尤为关键。同时，需要特别指出的是，疫情防控是一个“零容错”场景，任何偏差都会带来整个社会的连锁反应，使一定规模的群体面临生命危险，这就要求在给定的时间内具备将工程级准确率（0.999 9）提升到绝对准确（1）的能力。

城市级疫情防控的部分场景应用如图2所示，通过面向城市复杂系统的社会计算系统架构，快速整合卫生、交通、住建、教育、出行等政府和企业关键数据源，开展密切接触人员的快速排查，在有限时间内对确诊人员的同行、同住、同工、同学等人员的时空轨迹进行精准分析，最大限度地定位感染途径和感染场所，从而快速切断感染链，降低病毒传播速度和缩小病毒传染范围，控制疫情传播态势。此外，通过快速整合调度疾控、民航、铁路、

社区等多源异构数据，实现大规模健康状态精准识别应用；通过快速整合电信、电力、燃气、供水、交通、楼宇、物流、外卖等多维度的关键要素，开展城市级、行业级、重点区域级的复工复产情况监测；通过快速整合“市-区-街-居”数据，实现疫苗接种目标群体的精准研判，以及接种人员到市、区、街道各级的实时匹配。

除疫情防控外，该架构已被应用到智慧城市的系列场景中。例如，通过快速整合调度车辆、高速及轨道通行数据，支撑交通运行监测和调度；通过快速整合调度房屋、城市部件数据，建立城市“规划-建设-运行-执法”闭环；通过快速整合调度市场主体的登记、纳税、社保、不动产、政采、信用等数据，支撑金融机构的贷款发放等。

5 结束语

面向城市复杂系统的社会计算系统架构为大规模多模态城市数据的控制、调度和计算问题提供了一种解决思路。然而，城市系统本身的复杂性、成长性及相关场景（如疫情防控）的“零容错”特征，对该系统在准确、高效、通用、安全、延展等方面提出了极高的要求。随着数据的要素化流通，技术在升级、场景在下沉、关系在迭代，如何在数字世界和物理世界之间通过一套统一的逻辑形成有效的衔接和动态的匹配，是未来相当长一段时期内的着力点和破局点。在这个过程中，与生产要素定位相匹配的生产力将面临量级跃升的瓶颈，相匹配的生产关系将面临底层重构的挑战。正是基于此判断，本文

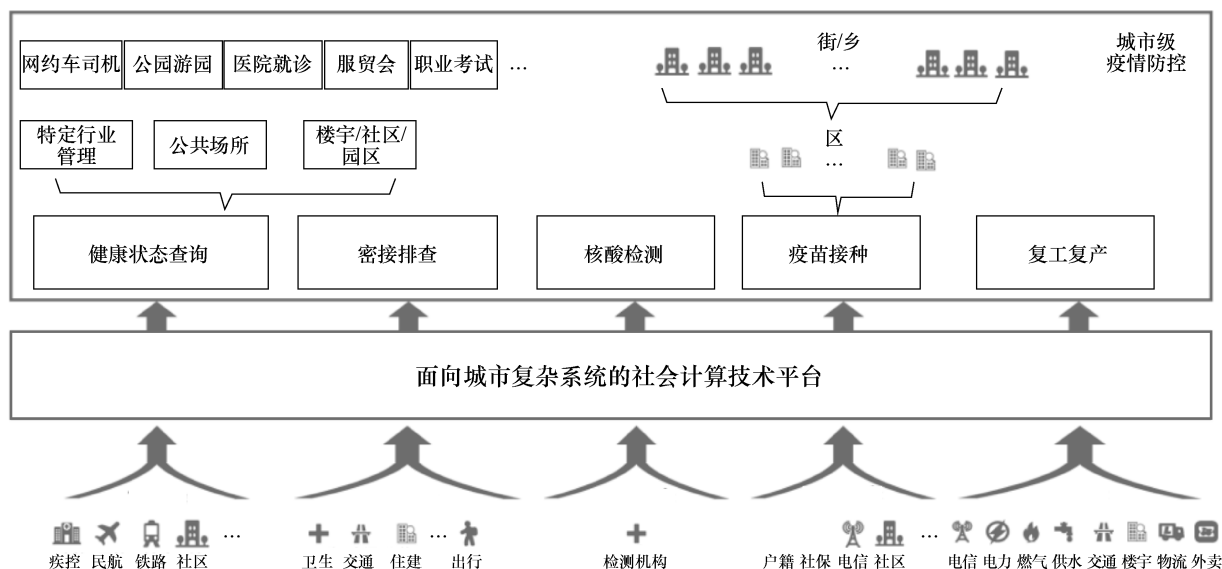


图2 城市级疫情防控的部分场景应用

提出了一种新的社会计算系统架构,希望能够为互联网进化为“互链网”提供前沿探索和有益参考。

参考文献:

- [1] 唐怀坤, 刘德平. 智慧城市复杂巨系统分析[J]. 中国信息化, 2020(9): 47-49.
TANG H K, LIU D P. Analysis of complex giant system in smart city[J]. Zhongguo Xinxihua, 2020(9): 47-49.
- [2] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学的新领域: 开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志, 1990, 13(1): 3-10.
QIAN X S, YU J Y, DAI R W. A new discipline of science the study of open complex giant system and its methodology[J]. Chinese Journal of Nature, 1990, 13(1): 3-10.
- [3] 仇保兴. 复杂自适应系统视角下的城市治理: 导向、方法论与特征[J]. 城市治理研究, 2019, 4(1): 1-10, 128.
QIU B X. Urban governance from the perspective of complex adaptive system: orientation, methodology and characteristics[J]. Urban Governance Studies, 2019, 4(1): 1-10, 128.
- [4] 卢亚珂. 大数据和信息化在城市管理中的创新应用[J]. 数字技术与应用, 2021, 39(1): 67-69.
LU Y K. The innovative application of big data and informatization in urban management[J]. Digital Technology and Application, 2021, 39(1): 67-69.
- [5] 陈锐, 贾晓丰, 赵宇. 大数据时代的城市运行管理信息协同模式研究[J]. 中国科学院院刊, 2014, 29(6): 708-717.
CHEN R, JIA X F, ZHAO Y. Research on information coordination patterns of city operation management in the age of big data[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2014, 29(6): 708-717.
- [6] 江艇, 孙鲲鹏, 聂辉华. 城市级别、全要素生产率与资源错配[J]. 管理世界, 2018, 34(3): 38-50, 77, 183.
JIANG T, SUN K P, NIE H H. City level, total factor productivity and resource mismatch[J]. World of Management, 2018, 34(3): 38-50, 77, 183.
- [7] 邵明伟, 金钟范, 张军伟. 中国城市群全要素生产率测算与分析——基于 2000—2014 年数据的 DEA-Malmquist 指数法[J]. 经济问题探索, 2018(5): 110-118.
SHAO M W, JIN Z F, ZHANG J W. Measurement and analysis of total factor productivity of urban agglomerations in China—a DEA-Malmquist index method based on 2000-2014 data[J]. Exploration of economic problems, 2018(5): 110-118.
- [8] 邢馨, 姜晓东. 复杂系统视角下高新区在区域中心城市复杂性演化中的管理——以徐州高新区为例[J]. 系统科学学报, 2020, 28(4): 118-121.
XING X, JIANG X D. Management analysis on complexity evolution of high-tech zone in regional central city from the perspective of complex system[J]. Chinese Journal of Systems Science, 2020, 28(4): 118-121.
- [9] 王飞跃. 关于复杂系统研究的计算理论与方法[J]. 中国基础科学, 2004, 6(4): 3-10.
WANG F Y. Computational theory and method on complex system[J]. China Basic Science, 2004, 6(4): 3-10.
- [10] 刘宇. 大数据在城市疫情防控中的应用与思考[J]. 城市建设理论(电子版), 2020(8): 62.
LIU Y. Application and inspirations of big data in urban epidemic prevention and control[J]. Research on Urban Construction Theory (electronic version), 2020(8): 62.
- [11] 王飞跃, 王艳芬, 陈慧竹, 等. 联邦生态: 从联邦数据到联邦智能[J]. 智能科学与技术学报, 2020, 2(4): 305-313.
WANG F Y, WANG Y F, CHEN Y Z, et al. Federated ecology: from federated data to federated intelligence[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2020, 2(4): 305-313.
- [12] 袁勇, 韩璇, 王飞跃. 社会计算: 开源与保密对立统一的智能技术[J]. 保密科学技术, 2019(2): 58-62.
YUAN Y, HAN X, WANG F Y. Social computing: intelligent technology with the unity of open source and confidentiality[J]. Security Science and Technology, 2019(2): 58-62.
- [13] 张宇栋, 王奇, 刘奕. “后疫情时代”社区治理中的个人数据应用: 问题与策略[J]. 电子政务, 2021(2): 84-96.
ZHANG Y D, WANG Q, LIU Y. Application of personal data in community governance in “post epidemic era”: issues and strategies[J]. E-Government, 2021(2): 84-96.
- [14] 李政, 洪莹. 基于隐私保护的政府大数据治理研究[J]. 大数据, 2020, 6(2): 69-82.
LI Z, HONG Y. Study on big data management for government based on privacy protection[J]. Big Data Research, 2020, 6(2): 69-82.
- [15] 王飞跃, 曾大军, 毛文吉. 社会计算的意义、发展与研究状况[J]. 科研信息化技术与应用, 2010(2): 5-16.
WANG F Y, ZENG D J, MAO W J. The significance, development and research status of social computing[J]. Scientific Research Information Technology and Application, 2010(2): 5-16.
- [16] WANG F Y. Social computing: concepts, contents, and methods[J]. International Journal of Intelligent Control and Systems, 2004, 9(2): 91-96.
- [17] 王飞跃, 李晓晨, 毛文吉, 等. 社会计算的基本方法与应用[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2013.
WANG F Y, LI X C, MAO W J, et al. Basic methods and applications of social computing[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2013.
- [18] 王飞跃, 王晓, 袁勇, 等. 社会计算与计算社会: 智慧社会的基础与必然[J]. 科学通报, 2015, 60(Z1): 460-469.
WANG F Y, WANG X, YUAN Y, et al. Social computing and computational societies: the foundation and consequence of smart societies[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(Z1): 460-469.
- [19] 王飞跃. 人工社会、计算实验、平行系统——关于复杂社会经济系统计算研究的讨论[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(4): 25-35.
WANG F Y. Artificial societies, computational experiments, and parallel systems: a discussion on computational theory of complex social-economic systems[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2004, 1(4): 25-35.
- [20] WANG F Y. Toward a paradigm shift in social computing: the ACP approach[J]. IEEE Intelligent Systems, 2007, 22(5): 65-67.
- [21] 王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制[J]. 控制与决策, 2004, 19(3): 485-489.
WANG F Y. Parallel system methods for management and control of complex systems[J]. Control and Decision, 2004, 19(3): 485-489.
- [22] WANG F Y, TANG S M. Artificial societies for integrated and sustainable development of metropolitan systems[J]. IEEE Intelligent Systems, 2004, 19(4): 82-87.
- [23] 杭成宝. 露天煤矿智能化转型平行安全研究[J]. 工矿自动化, 2021, 47(S1): 96-100.
HANG C B. Parallel safety research on intelligent transformation of open pit coal mine[J]. Industrial and Mining Automation, 2021, 47(S1): 96-100.
- [24] 王飞跃, 戴汝为, 张嗣瀛, 等. 关于城市交通、物流、生态综合发展的复杂系统研究方法[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(2): 60-69.
WANG F Y, DAI R W, ZHANG S Y, et al. A complex system approach for studying sustainable and integrated development of metropolitan transportation, logistics and ecosystems[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2004, 1(2): 60-69.
- [25] 王晓, 要婷婷, 韩双双, 等. 平行车联网: 基于 ACP 的智能车辆网

- 联管理与控制[J]. 自动化学报, 2018, 44(8): 1391-1404.
WANG X, YAO T T, HAN S S, et al. Parallel internet of vehicles: the ACP-based networked management and control for intelligent vehicle[J]. Acta Automatica Sinica, 2018, 44(8): 1391-1404.
- [26] 吕宜生, 陈圆圆, 金峻臣, 等. 平行交通: 虚实互动的智能交通管理与控制[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 21-33.
LYU Y S, CHEN Y Y, JIN J C, et al. Parallel transportation: virtual-real interaction for intelligent traffic management and control[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 21-33.
- [27] 李兴兵, 许永平, 黄力. 大数据时代城市智慧交通管理发展现状及对策[J]. 智能城市, 2020, 6(17): 10-13.
LI X B, XU Y P, HUANG L. Research on status and countermeasures of urban intelligent transportation management in big data era[J]. Intelligent City, 2020, 6(17): 10-13.
- [28] 周敏, 董海荣, 徐惠春, 等. 平行应急疏散系统: 基本概念、体系框架及其应用[J]. 自动化学报, 2019, 45(6): 1074-1086.
ZHOU M, DONG H R, XU H C, et al. Parallel emergency evacuation systems: basic concept, framework and applications[J]. Acta Automatica Sinica, 2019, 45(6): 1074-1086.
- [29] 李洁. 地方政府大数据管理创新: 表现、问题、对策[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版), 2021, 18(6): 51-54.
LI J. Local government big data management innovation: performance, problems and countermeasures[J]. Journal of Hubei University of Economics (Humanities and Social Sciences), 2021, 18(6): 51-54.
- [30] 马萍. 以大数据提升淮安城市管理水平研究[J]. 中国管理信息化, 2021, 24(8): 197-199.
MA P. Research on improving urban management level of Huai'an with big data[J]. Management Informatization in China, 2021, 24(8): 197-199.
- [31] 胡少云. 人工智能让城市管理更“智慧”[J]. 上海信息化, 2018(8): 53-56.
HU S Y. Artificial intelligence makes urban management more “intelligent”[J]. Shanghai Informatization, 2018(8): 53-56.
- [32] 王连峰, 宋刚, 张楠, 等. 面向智慧城市治理的数据模型建构[J]. 城市发展研究, 2021, 28(3): 70-76, 84.
WANG L F, SONG G, ZHANG N, et al. Building an urban data model towards smart city governance[J]. Urban Development Studies, 2021, 28(3): 70-76, 84.

[作者简介]



贾晓丰(1985—), 男, 博士, 北京市大数据中心数据管理部负责人、高级工程师, 主要研究方向为大数据、区块链、隐私计算、复杂网络和知识图谱。



高嵩(1986—), 女, 北京市大数据中心高级工程师, 主要研究方向为大数据、区块链、隐私计算。



江茜(1991—), 女, 北京市大数据中心工程师, 主要研究方向为大数据、复杂网络和知识图谱。



齐红威(1975—), 男, 博士, 数据堂(北京)科技股份有限公司董事长、高级工程师, 主要研究方向为人工智能数据采集、处理以及联邦数据等。



王晓(1988—), 女, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室副研究员, 主要研究方向为社会交通、动态网群组织、人工智能和社交网络分析。



张俊(1981—), 男, 武汉大学电气与自动化学院教授、博士生导师, 中国自动化学会副秘书长, IEEE 射频识别理事会(IEEE CRFID)副主席。主要研究方向为大数据、人工智能、物联网等新一代信息技术及其在电力能源等复杂系统中的应用。担任 *IEEE Transactions on Computational Social Systems*、*IEEE Internet of Things Magazine*、*IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*、《自动化学报》《智能科学与技术学报》等高水平学术期刊编委。2019 年获得杨嘉墀科技奖二等奖。



秦蕊(1983—), 女, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室副研究员, 主要研究方向为区块链、商务智能、计算广告学。



欧阳丽炜(1996—), 女, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室博士生, 主要研究方向为社会计算、区块链和智能合约。