

平行圆明园：从数字孪生园林到元宇宙智慧遗址公园

康孟珍^{1,2}, 邱文忠³, 陈自富⁴, 王猛³, 许沙沙³, 王秀娟^{1,5},
倪爱东⁴, 蒋玉洁³, 陈世超^{1,5}, DE REFFYE Philippe⁶, 王飞跃^{1,2}

(1. 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, 北京 100190;

2. 中国科学院大学人工智能学院, 北京 100049;

3. 北京市海淀区圆明园管理处, 北京 100084;

4. 北京世纪明德教育科技股份有限公司, 北京 100091;

5. 中国科学院自动化研究所北京市智能化技术与系统工程研究中心, 北京 100190;

6. 法国农业发展研究中心植物学与植物构筑模型联合实验室, 法国 蒙彼利埃 F-34398)

摘要: 圆明园是一座历史上的皇家园林, 它不仅在中国园林史上占有重要地位, 也在世界上享有很高的声誉。圆明园蕴含的历史和文化价值, 迫切需要通过一种全新的方式被国人广泛了解, 被世界铭记。围绕坚持“保护第一、加强管理、挖掘价值、有效利用、让文物活起来”的工作方针, 提出平行圆明园这一全新解决方案, 为智慧圆明园的建设提供技术参考。平行圆明园是 ACP 理论在圆明园运营管理中的应用, 通过描述智能构建虚拟圆明园, 利用预测智能在虚拟圆明园中进行大规模的计算实验, 通过引导智能和平行执行突破圆明园的地域边界, 实现对圆明园的智能管理。虚拟世界的圆明园的发展和丰富, 虚拟与现实世界的日益平行互动和融合, 将带来新的圆明园运营模式。

关键词: 平行系统; ACP 理论; 去中心化自治组织; 圆明园; 智能管理

中图分类号: G1

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.202247

Parallel Yuan-Ming Yuan Imperial Garden: from digital twin garden to metaverse smart heritage park

KANG Mengzhen^{1,2}, QIU Wenzhong³, CHEN Zifu⁴, WANG Meng³, XU Shasha³, WANG Xiujuan^{1,5},
NI Aidong⁴, JIANG Yujie³, CHEN Shichao^{1,5}, DE REFFYE Philippe⁶, WANG Fei-Yue^{1,2}

1. The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2. School of Artificial Intelligence, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. Yuanmingyuan Administrative Office, Haidian District, Beijing 100084, China

4. Beijing Century Mingde Education & Technology Co., Ltd., Beijing 100091, China

5. Beijing Engineering Research Center of Intelligent Systems and Technology, Institute of Automation,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

6. CIRAD, UMR AMAP, Montpellier F-34398, France

Abstract: Yuan-Ming Yuan Imperial Garden is a historically royal garden; it not only occupies an important position in the history of Chinese garden, but also enjoys a high reputation in the world. The historical and cultural values contained in Yuan-Ming Yuan Imperial Garden needs to be widely understood by the Chinese people and be remembered by the world through a new way. Focusing on the work policy for cultural relics of “protection first, strict management, mining

收稿日期: 2022-09-02; 修回日期: 2022-09-07

通信作者: 王飞跃, feiyue.wang@ia.ac.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.62076239)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No.62076239)

value, rational utilization and good transmission”, a new solution of parallel Yuan-Ming Yuan Imperial Garden was proposed, which provided technical reference for the construction of the smart Yuan-Ming Yuan Imperial Garden. Parallel Yuan-Ming Yuan Imperial Garden is the application of ACP theory in the operation and management. Descriptive intelligence will be used to construct a virtual Yuan-Ming Yuan Imperial Garden, predictive intelligence will be used to conduct large-scale computational experiments in the virtual Yuan-Ming Yuan Imperial Garden, and prescriptive intelligence and parallel execution will be used to outbreak the geographical limit and lead to the smart management of Yuan-Ming Yuan Imperial Garden. It is expected that the development and enrichment of the Yuan-Ming Yuan Imperial Garden in the virtual world, and the increasingly parallel interaction and integration with the real world, will bring about a new operating mode.

Key words: parallel system, ACP theory, decentralized autonomous organization, Yuan-Ming Yuan Imperial Garden, intelligent management

0 引言

(1) 圆明园简介

圆明园是一座大型的清代皇家园林，历史上的圆明园由圆明园、长春园、绮春园三园组成。圆明园有百余处风景建筑群，占地 350 公顷，是清朝帝王在 150 余年间修建和经营的一座大型皇家宫苑。盛时的圆明园是我国皇家园林的杰作，规模宏大，景色秀丽，是中国古典园林的集大成者，国际上被誉为“万园之园”“一切造园艺术的典范”。圆明园不仅以园林著称，还是收藏丰富的皇家博物馆，集中了历代珍藏的图书、字画、文物、珍宝。圆明园的建筑艺术亦是殊胜之作，布局和谐合理，体现了科学严谨的构思和精深博大的文化。圆明园全景图如图 1 所示，由北京市海淀区圆明园管理处（以下简称圆明园管理处）提供。

然而圆明园最终沦为圆明园遗址(如图 2 所示，由圆明园管理处提供)。不平凡的经历和阅历注定了它具有独特的、多方面的价值，它是无价之宝。圆明园遗址是中国近 300 年历史的一个缩影，也是 19 世纪帝国主义侵略和掠夺中国的罪证。保护好、展示好、弘扬好圆明园，功在当代，利在千秋。目前，98%的圆明园只剩下了部分地基和大致轮廓，仅凭这些，参观者很难想象昔日的圆明园，更无法

感悟圆明园博大精深的历史和文化。在这个新的时代，圆明园的价值迫切需要通过一种全新的方式被国人广泛了解，被世界铭记。



图 2 被烧毁后的圆明园

(2) 圆明园管理工作现状

1976 年 11 月，圆明园管理处成立。1988 年 1 月 13 日，圆明园遗址被国务院公布为第三批全国重点文物保护单位之一，同年圆明园遗址公园正式开始对社会开放。1998 年 11 月，圆明园遗址公园被北京市国防教育委员会命名为“北京市国防教育基地”。2010 年 10 月，国家文物局将圆明园遗址公园列入第一批国家考古遗址公园。2019 年，圆明园管理处启动“修复 1860”项目。

圆明园管理处在“十三五”期间，守正创新，积极开展考古发掘和研究，实施多项重点遗址保护



图 1 圆明园全景图

展示工程，建立地上可见遗存统计台账，开展遗存监测、文物数字化工作；深耕圆明园文化品牌，自主创新，设计产品 2 264 个，文旅融合效应明显；持续提升生态环境建设，用生态方法解决生态问题；在宣传方面，利用传统媒体主动发声，借助“互联网+新媒体”及时快速发布圆明园文化信息，打造圆明园自媒体矩阵，年阅读量过亿。

新时期，圆明园管理处贯彻坚持“保护第一、加强管理、挖掘价值、有效利用、让文物活起来”的工作方针，强化顶层设计，科学规划，按照世界文化遗产的保护标准，积极处理经济建设和文物保护之间的关系、文物保护和合理利用之间的关系，注重文化导向，统筹推进遗址保护。创新思想和科技手段渗透于管理的各个方面，包括圆明园流散文物和文献的数字化回归，破损文物的数字化拼接和复原展示，馆内馆外、虚拟现实融合的圆明园遗址博物馆，云观展线上活动、园区监测预警平台等。在迈入元宇宙时代之际，如何围绕文物工作方针，统筹规划“智慧圆明园”，仍是具有挑战性和前瞻性的命题。

1 平行圆明园

随着人工智能、云计算、大数据、虚拟现实技术的迅猛发展，虚拟世界的数字化产品不再单纯扮演单向展示的角色，而是越来越多地影响现实世界，虚实相互作用。早在 2004 年，王飞跃研究员面向复杂系统管理和控制提出 ACP 平行系统方法/ACP 理论^[1]，其中 ACP 分别代表人工系统（artificial systems, A）或虚拟系统、计算实验（computational experiments, C）和平行执行（parallel execution, P）。ACP 旨在针对实际系统难以建模、难以预测的问题，通过构建人工系统并进行计算实验，得出优化的人工系统管理控制策略，为实际系统提供参考。人工系统和实际系统相互影响和调整，不断地进行迭代优化和平行执行。

当前，平行系统及 ACP 理论已经在交通控制^[2]、应急疏散^[3]、艺术创作^[4]、网络安全^[5]、医院管理^[6]等领域得到了成功应用，利用应用场景中的人工系统和实际系统进行虚实互动、迭代优化和平行执行，提高实际系统的应用效果。随着物联网、移动互联网技术的普及应用，虚拟和现实、物理和社会共融的系统逐渐形成，其被称为社会物理信息系统（cyber-physical-social systems, CPSS）。与工业的物理信息系统（cyber physical systems, CPS）相比，CPSS 多了一个社会的维度。

本文依据 CPSS+ACP 理论^[7]，结合圆明园的管理需求，提出未来发展智慧圆明园的建设思路，即平行圆明园，旨在实现从圆明园数字系统到智慧化操作系统的跨越，满足未来的圆明园管理对社会性、人文性与科学性发展的需要^[8]。平行圆明园由真实圆明园和与之对应的虚拟圆明园组成，针对圆明园打造国家考古遗址公园样板、传承圆明园历史文化价值、深度发展文化旅游产业、彰显圆明园人文关怀、全面提升综合管理水平等方面的规划需求，通过描述智能、预测智能和引导智能实现对真实圆明园的建模、推演、引导控制以及虚实结合的平行执行。基于 ACP 理论的平行圆明园的理论框架如图 3 所示。

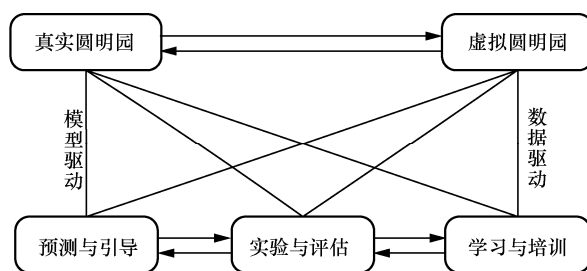


图3 基于 ACP 理论的平行圆明园的理论框架

2 平行圆明园的描述智能

平行圆明园的描述智能从 3 个层次对圆明园进行描述，从而构建一个圆明园的“数字四胞胎”，或统称为人工系统。

第一个层次是数字定义的圆明园。数字定义的圆明园是在虚拟空间对真实世界的重现，主要产出是三维数字化模型或产品（例如发掘遗址和文物的数字化扫描成果，结合实地考察和历史文献而设计的古建筑模型），也包括对历史某个时期的圆明园场景的重现，构建数字孪生^[9]。此外还包括对圆明园资产盘点的数字化资源，这些数字化资源令用户能够“明察其境”，并使得后续能够根据不同的应用需求提供数字化基础。

第二个层次是软件定义的圆明园。软件定义的圆明园基于数字圆明园中构建的建筑、文物等数字模型，针对圆明园在考古服务、文化传播、线上教育、旅游体验和生态设计上的功能进行相关事件的情景模拟和交互体验，例如虚拟考古、数字复原、数字教育等。与静态的、由数字模型构成的虚拟圆明园的区别在于，软件定义的圆明园建立虚拟圆明园中不同对象（建筑、文物、设施、环境甚至人员等）之间的联系和规则，强调基于设定的逻辑和规

则来模拟和表达特定的动态场景,以类似游戏的方式增强虚拟场景的体验感。基于软件定义的圆明园可以进行虚实之间的互动,可以有虚拟场景的“自己”,其特点是“身临其境”。

第三个层次是想象定义的圆明园。想象定义的圆明园设定预期的目标,通过软件定义的圆明园的模拟推演,引导真实圆明园进行更优的遗址保护、文化传播、在线教育或生态设计。数字定义的圆明园表达了圆明园过去和现在,软件定义的圆明园表达了未来圆明园的不同情况,想象定义的圆明园则基于对未来圆明园的模拟来引导现在,即“智汇临境”。

数字定义、软件定义、想象定义的圆明园在实际系统中往往界限并不明显,它们共同构成真实圆明园的3类虚拟系统。目前,在圆明园虚拟系统构建方面,通过与第三方院所和机构的合作,已有较多的基础。2009年,清华大学建筑学院郭黛姮教授创立了数字化复原圆明园团队,结合圆明园的社会文化背景,重现一个涵盖山水环境、建筑艺术、造园艺术、园林植物、遗址考古与发掘的“圆明园”。团队已经完成全园108处景区的数字化复原。通过数字化的手段对圆明园进行信息采集与整合,在此基础上复原出建筑、山水、植物景观的二维图纸和三维图像,通过从空间、尺度等层面进行综合分析,已取得若干富有新意的成果^[10]。恢复圆明园的实体已不可能,虚拟圆明园则可在数字空间重现当年辉煌(如图4所示)。



图4 数字圆明园

2020年,虚拟圆明园盛景在北京首钢园以数字的形式得以重现。名为《重返·万园之园》的数字圆明园,结合圆明园相关考古成果、样式雷图档、老照片、铜版画等,通过数字技术还原圆明园消失的50余处美景,让参观者身临其境地感受“万园之园”带来的震撼^[11]。三维的虚拟圆明园还可用于影片创作。影片《圆明园》用实地拍摄、情景再现、数字虚拟和史料文献展现相结合的方法,从点到面共同见证了圆明园这个人类艺术瑰宝的存在与消逝,让观众在新的视野下重

新审视,更全面地认知历史现象^[12]。

在教育方面,虚拟圆明园可服务于公众的圆明园实地游览,让普通民众更容易认识和理解如此重要的历史遗产^[13]。实体游览时,游客只能从废墟和文字描述中去想象当年圆明园的辉煌,而数字模型可达到移步换景的效果,使游客深刻认识到圆明园的历史变迁。在生态方面,虚拟圆明园可展现古人在水文、植被管理和设计中的智慧,为目前的圆明园生态管理提供支持。在旅游文创方面,数字化复原的圆明园细节可供用户充分继承文化遗产,在此基础上进行创造和发挥,从而提炼出大众喜闻乐见的元素。例如,2022年七夕节,圆明园公开首发“创世徽章”“并蒂圆明”两款官方数字藏品(如图5所示)。这两款数字藏品巧妙地融合了多个具有代表性的圆明园文化元素,并以新颖的创意设计进行呈现。



图5 圆明园官方数字藏品照片

3 平行圆明园的预测智能

平行圆明园的预测智能基于人工圆明园在信息空间进行各种情形的模拟和规划,以代替真实世界中耗费巨大的实验,节省人力和成本。预测智能在面向博物馆的展览、教育、安全方面的作用在参考文献^[14]中已有详述。围绕智慧圆明园的建设,预测智能涉及的技术包括:游客密度的仿真,为旅游路线设计提供参考;植被生长和恢复的模拟,进行景观修复动态预测;应急事件的模拟,推演疏散

路线等。在数字空间,智能预测涉及虚拟用户行为的模拟和预测,为虚拟世界的管理提供支持。

随着元宇宙^[15]概念的出现,圆明园也走上了与元宇宙接轨的道路,并推出了相关的文化产品。目前的圆明园元宇宙文化产品一般是对部分景点进行数字重建而形成的一个沉浸式空间,例如时光买卖街的《千机圆明》全景沉浸式飞行体验空间。结合历史文献,还可设计和还原大量的历史场景,进一步令用户置身其中,构成一个类似游戏的虚拟世界。在近年来全球疫情的背景下,软件定义的圆明园可以突破地域的限制,为构建一个无国界的圆明园带来无限的可能。

4 平行圆明园的引导智能

平行圆明园的引导智能是根据圆明园承载的功能,通过规划未来来引导现在。引导智能实现虚拟和现实之间的反馈和闭环,需要使用数字空间的智能技术来改变和影响真实世界。例如,根据游客监测和预测智能推导的多种旅游设计路线,进行实际道路设计的优化;结合实际场景和景观模拟,确定实际的景观设计方案,指导工程实施;基于应急情况的模拟,落实疏散点和疏散路线。基于引导智能对数字空间用户的管理包括管理规则的制定。引导智能在平行圆明园中的作用如图6所示。

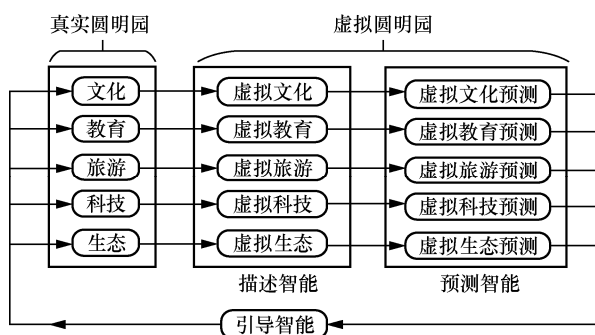


图6 引导智能在平行圆明园中的作用

5 基于去中心化自治组织的平行圆明园

未来随着元宇宙技术的普及应用和虚拟世界的圆明园的发展和管理规则的制定,虚拟与现实世界日益平行互动,形成虚实融合的社区。基于价值网络的去中心化自治组织(decentralized autonomous organization, DAO)^[16]将带来新的运营模式。DAO是一个混序、扁平、平行(虚拟与现实)、人机合一的多中心的生态立体网状组织结构。随着信

息技术的发展和自身复杂性的不断增加,传统的管理模式等已经很难适应复杂多变的环境。在元宇宙时代,DAO可以将虚拟圆明园的数字产品作为资产进行管理和展示,开放文化传播、文创设计、景观设计、参与式考古和保护等功能,建立社会智慧和资本的参与和共享机制,促进货币资本、人力资本以及其他要素资本充分融合^[17],从而更好地激发组织的效能,并实现价值流转,为打造元宇宙时代的遗址公园样板提供思路。

基于DAO的平行圆明园在面向智慧圆明园涉及的业务场景和任务需求时(例如圆明园的文创设计),可以根据目标对任务所需的能力进行定义和分解,选择和调度合适的智能代理(针对特定任务的能力库),通过最优化评估和筛选,实现智能代理的灵活配置,实现任务的自动派送和实施。随着以深度学习、强化学习、生成式对抗网络为代表的人工智能技术的快速发展,DAO中的个体节点将成为自主和自治的智能代理(或称软件机器人),具备推理、决策、协作等功能^[18],可回答未知场景下“what-if”式智能推演、计算实验以及自主决策,自动实现任务的识别、推荐、匹配和对接,从而实现高效的管理,快速调动组织人力和知识资本。

开放的平行圆明园将成为一个大众参与的平台,吸纳各方智慧,以DAO保证其管理。在遗址保护方面,可发动社会力量进行资金募集和遗址修复,打造无国界的圆明园。在文物活化方面,可利用数字资源,发挥文化创意,实现数字空间的价值体现。在旅游文创方面,DAO可以支持数字空间的各种文创产品设计和流通平台。平行圆明园中的数字文物、人物、建筑都可赋予各自独一无二的身份,由数字化向“数字四胞胎”^[19]发展是推动DAO智能化的基础。DAO将为打破圆明园的物理边界提供基础设施,为任务的智能匹配、未来圆明园的管理及引导提供支持。

6 结束语

本文提出基于ACP平行系统理论的智慧圆明园的规划,提出了包括描述智能、预测智能、引导智能的平行圆明园的理论框架,并结合圆明园规划进行了论述。平行圆明园将服务于智慧圆明园的建设发展,最终实现6S:现实世界圆明园及游客的安全(safety)、文物及建筑的数字世界安全(security)、园区整体发展的可持续性(sustainability)、虚实世界中的隐私和个性化展示

(sensitivity)、面向社会的全面服务(service)以及智慧的圆明园运营管理(smartness)^[17]。圆明园肩负着打造国家考古遗址公园样板的责任,前瞻性的顶层设计有助于可持续、系统性建设。

本文提出了平行圆明园不同层次的发展和应用,从单向的三维展示的圆明园到虚实互动的平行圆明园,并介绍了基于DAO的平行圆明园的运营模式。数字圆明园收集数据、分析数据、呈现数据,将想象定义的圆明园应用于圆明园管理的模式创新、生态重构、改善体验等。三维重建、物联网等技术为圆明园的数字化提供了条件,虚拟现实、增强现实等技术则服务于数字产品的进一步利用,未来则进一步通过虚拟世界和真实世界的互动来提升对圆明园的保护和管理功能。基于平行圆明园的描述、预测、指导,将打破圆明园的物理边界,产生新时代的创新运营模式。

与此相关,除了实际的文物,数字资产将是平行圆明园的价值的重要组成部分。目前圆明园的数字资产管理还在起步阶段,实际文物的数字盘点和监测刚刚实施,数字文物的知识产权则大多散落于各个合作机构。未来,圆明园将强化在数字采集、数字处理、数字存储、数字复原、数字展示、数字传播等技术应用方面的布局。未来一方面继续与社会力量资源、创意、市场共享,另一方面开展数字化保护和共享。

本文讨论了平行圆明园的理论框架及其主要组成部分,其目的在于更好地实现圆明园原本的文化、保护、教育和展览等功能。未来,平行圆明园将作为智慧圆明园中智慧大脑的主要技术参考,通过联邦数据^[20]实现圆明园间不同数据的交互,实现对智慧圆明园一实一虚两条主线的质量维系和效果提升,协助回答“如何管理、如何利用”这个涉及圆明园瑰宝的关键问题。

参考文献:

- [1] 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(5): 485-489, 514.
WANG F Y. Parallel system methods for management and control of complex systems[J]. Control and Decision, 2004, 19(5): 485-489, 514.
- [2] CHEN L, LIN S B, LU X K, et al. Deep neural network based vehicle and pedestrian detection for autonomous driving: a survey[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2021, 22(6): 3234-3246.
- [3] 胡玉玲, 王飞跃, 刘希未. 基于ACP方法的高层建筑火灾中人员疏散策略研究[J]. 自动化学报, 2014, 40(2): 185-196.
HU Y L, WANG F Y, LIU X W. ACP-based research on evacuation strategies for high-rise building fire[J]. Acta Automatica Sinica, 2014, 40(2): 185-196.
- [4] 郭超, 鲁越, 林懿伦, 等. 平行艺术: 人机协作的艺术创作[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(4): 335-341.
GUO C, LU Y, LIN Y L, et al. Parallel art: artistic creation under human-machine collaboration[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(4): 335-341.
- [5] 王飞跃. 平行世界的平行安全: 基于CPSS的生成式对抗安全智慧系统[J]. 信息安全与通信保密, 2018, 16(10): 21-22.
WANG F Y. Parallel security in parallel world: CPSS based generative adversarial security intelligence system[J]. Information Security and Communications Privacy, 2018, 16(10): 21-22.
- [6] 王拥军, 王飞跃, 王戈, 等. 平行医院: 从医院信息管理系统到智慧医院操作系统[J]. 自动化学报, 2021, 47(11): 2585-2599.
WANG Y J, WANG F Y, WANG G, et al. Parallel hospitals: from hospital information system (HIS) to hospital smart operating system (HSOS)[J]. Acta Automatica Sinica, 2021, 47(11): 2585-2599.
- [7] WANG F Y. Parallel ecology for intelligent and smart cyber-physical-social systems[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2020, 7(6): 1318-1323.
- [8] 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): 305-311.
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): 305-311.
- [9] 贾琨, 贺艳. 基于数字化技术的圆明园造园意匠研究[J]. 中国建筑史论汇刊, 2016(2): 341-364.
JIA J, HE Y. Study of Yuanmingyuan design idea based on digitization[J]. Journal of Chinese Architecture History, 2016(2): 341-364.
- [10] 数字重现圆明园已消失的美景[J]. 中国信息界, 2020(4): 67.
Digitally recreates the lost beauty of Yuanmingyuan[J]. Information China, 2020(4): 67.
- [11] 曹毅梅. 《圆明园》: 数字影像写就的史诗[J]. 电影文学, 2010(8): 56-57.
CAO Y M. Yuanmingyuan: epics written in digital images[J]. Movie Literature, 2010(8): 56-57.
- [12] 王春法, 王飞跃, 鲁越, 等. 平行博物馆: 新时代博物馆运营的智能管理与控制[J]. 智能科学与技术学报, 2021, 3(2): 125-136.
WANG C F, WANG F Y, LU Y, et al. Parallel museums: intelligent management and control of museum operations in the new era[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2021, 3(2): 125-136.
- [13] 杨林瑶, 陈思远, 王晓, 等. 数字孪生与平行系统: 发展现状、对比及展望[J]. 自动化学报, 2019, 45(11): 2001-2031.
YANG L Y, CHEN S Y, WANG X, et al. Digital twins and parallel systems: state of the art, comparisons and prospect[J]. Acta Automatica Sinica, 2019, 45(11): 2001-2031.
- [14] 尚晋. 再现建筑遗产 数字复原圆明园[J]. 中国文化遗产, 2013(3): 55-59.
SHANG J. Reproduction of architectural heritage, digital restoration of Yuanmingyuan [J]. China Cultural Heritage, 2013(3): 55-59.
- [15] WANG F Y. Parallel intelligence in metaverses: welcome to Hanoi![J]. IEEE Intelligent Systems, 2022, 37(1): 16-20.
- [16] WANG F Y, DING W W, WANG X, et al. The DAO to DeSci: AI for free, fair, and responsibility sensitive sciences[J]. IEEE Intelligent Systems, 2022, 37(2): 16-22.
- [17] 丁文文, 王帅, 李娟娟, 等. 去中心化自治组织: 发展现状、分析框架与未来趋势[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(2): 202-213.
DING W W, WANG S, LI J J, et al. Decentralized autonomous organizations: the state of the art, analysis framework and future trends[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(2): 202-213.
- [18] YE P J, WANG S, WANG F Y. A general cognitive architecture for agent-based modeling in artificial societies[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2018, 5(1): 176-185.

- [19] 刘腾, 王晓, 邢阳, 等. 基于数字四胞胎的平行驾驶系统及应用[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 40-51.

LIU T, WANG X, XING Y, et al. Research on digital quadruplets in cyber-physical-social space-based parallel driving[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 40-51.

- [20] WANG F Y, ZHANG W S, TIAN Y L, et al. Federated data: toward new generation of credible and trustable artificial intelligence[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2021, 8(3): 538-545.

[作者简介]



康孟珍（1975—），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副研究员，主要研究方向为平行农业和计算植物。



邱文忠（1969—），男，北京市海淀区圆明园管理处主任，主要研究方向为文化遗产保护和利用。



陈自富（1973—），男，博士，北京世纪明德教育科技有限公司董事长，主要研究方向为信息科学历史及文化、科学文化传播、文旅科技。



王猛（1970—），男，北京市海淀区圆明园管理处副主任，主要研究方向为文化遗产保护和利用。



许沙沙（1986—），女，北京市海淀区圆明园管理处遗址展示规划科副科长，主要研究方向为文化遗产保护和利用。



王秀娟（1982—），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助理研究员，主要研究方向为平行农业和植物建模。



倪爱东（1975—），男，北京世纪明德教育科技有限公司副总裁，主要研究方向为信息科学历史及文化、科学文化传播、文旅科技。



蒋玉洁（1992—），女，北京市海淀区圆明园管理处助理工程师，主要研究方向为园林遗址景观保护与展示利用。



陈世超（1987—），男，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助理研究员，主要研究方向为边缘计算、工业物联网、机器学习等。



DE REFFYE Philippe（1944—），男，博士，法国农业发展研究中心植物学与植物构筑模型联合实验室高级研究员，主要研究方向为植物生长建模与可视化。



王飞跃（1961—），男，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研究员，国防科技大学军事计算实验与平行系统技术研究中心教授，中国科学院大学中国经济与社会安全研究中心主任，主要研究方向为智能系统和复杂系统建模、分析与控制。