

## 平行科研院所：从数字化转型到智能化变革

秦蕊<sup>1,2</sup>, 梁小龙<sup>2,3</sup>, 李娟娟<sup>1,2</sup>, 丁文文<sup>3</sup>, 侯家琛<sup>3</sup>, 王雨桐<sup>1,2</sup>, 田永林<sup>1,2</sup>, 文丁<sup>4,5,6</sup>

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. 中国科学院自动化研究所多模态人工智能系统全国重点实验室, 北京 100190;
3. 澳门科技大学创新工程学院, 澳门 999078;
4. 北方自动控制技术研究所, 山西 太原 030006;
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技术研究中心, 北京 100190;
6. 北京怀柔平行传感智能研究院, 北京 101400)

**摘要:** 为应对当前科研院所在管理工作与科研业务方面面临的双重复杂性挑战, 平行科研院所的概念被提出。平行科研院所以虚实互动的平行智能理论为基础, 利用基于数字孪生与元宇宙的数字化建设技术、基于区块链与去中心化自治组织与运营(DAO)的分布式治理技术、基于多模态大数据与大模型的智能化决策技术以及基于分布式自主科学(DeSci)与人工智能驱动的科学(AI4S)的科学创新范式, 形成基于复杂科学的科研院所变革引导方案, 构建可信、可靠、可用和高效益的智慧科研组织与运营生态。介绍了平行科研院所的体系设计与关键技术, 描述了其主要特征与优势, 并探讨了其典型应用场景。平行科研院所超越简单的科研院所数字化转型, 强调更高级的智能化变革, 旨在促进科研院所的可持续健康发展。

**关键词:** 平行科研院所; 元宇宙; 去中心化自治组织与运营; 分布式自主科学; 人工智能驱动的科学

**中图分类号:** C931

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.2096-6652.202318

## Parallel scientific research institutes: from digital transformation to intelligent revolution

QIN Rui<sup>1,2</sup>, LIANG Xiaolong<sup>2,3</sup>, LI Juanjuan<sup>1,2</sup>, DING Wenwen<sup>3</sup>, HOU Jiachen<sup>3</sup>,  
WANG Yutong<sup>1,2</sup>, TIAN Yonglin<sup>1,2</sup>, WEN Ding<sup>4,5,6</sup>

1. The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
2. State Key Laboratory of Multimodal Artificial Intelligence Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
3. Faculty of Innovation Engineering, Macau University of Science and Technology, Macau 999078, China
4. North Automatic Control Technology Institute, Taiyuan 030006, China
5. Beijing Engineering Research Center of Intelligent Systems and Technology, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
6. Beijing Huairou Academy of Parallel Sensing, Beijing 101400, China

**Abstract:** Aiming to address the dual complexities that current scientific research institutes face in both management work and research tasks, parallel scientific research institutes were proposed. Parallel scientific research institutes were constructed based on the virtual-real interactive parallel intelligence theory, which leveraged digital construction technologies based on digital twins and metaverse, distributed governance technologies based on blockchain and decentralized autonomous organizations and operations (DAOs), intelligent decision-making technologies based on big data and founda-

收稿日期: 2023-05-15; 修回日期: 2023-05-25

通信作者: 李娟娟, juanjuan.li@ia.ac.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.62103411); 澳门特别行政区科学技术发展基金项目 (No.0050/2020/A1)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (No.62103411), The Science and Technology Development Fund of Macau SAR (No.0050/2020/A1)

tion models, as well as scientific innovation paradigms based on decentralized science (DeSci) and artificial intelligence for science (AI4S). Their core goal was to form a prescriptive scheme for scientific research institute transformation driven by complex science, thereby constructing a trustworthy, reliable, usable, efficient and effective intelligent research organizational and operational ecosystem. The systematic design and key technologies of parallel scientific research institutes were introduced, their main characteristics and advantages were described, and their typical application scenarios were explored. Parallel scientific research institutes go beyond the simple digital transformation of scientific research institutes, and emphasize a higher level of intelligent transformation, promoting the sustainable and healthy development of scientific research institutes.

**Key words:** parallel scientific research institutes, metaverse, decentralized autonomous organizations and operations, decentralized science, artificial intelligence for science

## 0 引言

通过探索未知领域的法则与原理、研究和开发新的技术与方法，人类知识的边界在科学研究的支撑下不断地扩展和延伸，进一步塑造人们的生活并驱动社会前行。科学研究是驱动科技创新的重要基础，而科研院所则是关键主体和核心力量，是国家科技创新体系的重要组成部分。首先，科研院所是科技创新的主要来源，他们从事基础科学研究，探索未知，发现新的科学规律和技术，为未来的创新打下基础；通过培养科技人才，为社会输送了大量研发工作者，支持了科技创新的人力资源需求；通过良好的研究设施和环境，支持大规模、高级别的科技研发活动；通过科研成果的转化，推动科技创新成果在社会中的应用和推广，从而产生实际的经济效益和社会效益。

科研活动的不确定性与复杂性、科研过程的动态性与创新性、科研范式的多样性以及科研管理的严格性等特征，导致科研院所在管理维度和科研业务维度都面临着复杂而多元的挑战，包括研究投资与回报的度量、科研成果的评估与考核、科研人才的招聘与留用、科研管理的规则性与灵活性平衡、产学研用的结合等。尽管数字化转型、管理创新、科研体制改革等措施与手段能够在一定程度上解决部分问题，提升科研效率和科技生产力，但并不能系统性地应对院所面临的难题。尤其是在现实的科研体系中，科研院所的转型与改革并不是一蹴而就的事情，而是要经历漫长而持续的探索，这一过程离不开利用小样本与“负样本”数据开展的破坏性实验及基于此的策略评估与优化。

人工智能 (artificial intelligence, AI)、区块链、数字孪生、元宇宙以及去中心化自治组织与运

营 (decentralized autonomous organizations and operations, DAO)<sup>[1-3]</sup>、分布式自主科学 (decentralized science, DeSci)<sup>[4-6]</sup>、人工智能驱动的科学 (artificial intelligence for science, AI4S) 等新兴技术，都在以无可比拟的力量改变我们的世界，为科研院所的转型与变革带来巨大的机遇与好处。例如：以大模型为代表的AI技术能智能理解和处理科研人员的语言并自动化应对烦琐的科研任务<sup>[7-8]</sup>，让科研人员更专注于高价值的工作；区块链有助于推动版权保护与科研数据共享等；数字孪生可以用来在虚拟环境中进行科研实验，以降低实验成本和风险；DAO可以支持更公平透明的科研资源分配决策等。然而，单独地或零散地将这些技术运用于科研院所的管理与业务中，就好比一盘散沙，缺乏统一的架构和策略来集成它们的优势，并且还可能导致资源和投入的重复与浪费、技术和业务上的冲突与矛盾<sup>[9-10]</sup>。因此，需要有应对科研院所复杂管理与业务的新思维与新范式。基于ACP (人工社会 (artificial societies)、计算实验 (computational experiments) 和平行执行 (parallel execution)) 方法的平行智能理论以虚实互动、平行执行的思想为核心<sup>[11-13]</sup>，利用新兴的智能技术与方法，形成基于复杂科学的引导与管理范式，构建可信、可靠、可用和高效益的智慧组织与运营生态，促进科研院所的可持续发展。

本文将基于平行智能理论和新兴智能技术构建平行科研院所，构建与实际科研院所相对应的人工科研院所，还原、模拟和拓展科研院所管理工作和业务工作的流程、要素与场景，利用人工科研院所中开展的计算实验对新的组织结构、管理方式、业务模式及相应的实施策略、方法、技术等进行评估和预测，以给出最优的方案，进而借助实际与人工

科研院所之间的平行执行与虚实互动，实现科研院所管理与业务优化的不断迭代与更新，从而促使科研院所的管理效益与业务能力提升。

本文致力于以平行智能理论指导科研院所的智能化变革，构建虚实交互的平行科研院所，并从管理工作和业务工作双重角度，利用新兴智能技术支撑科研院所的智能化变革。从科研院所管理工作角度，研究基于数字孪生与元宇宙的科研院所数字化建设技术，探索基于区块链与 DAO 的科研院所分布式治理模式，研究基于大数据分析技术与人工智能大模型的智能化决策方法；从科研院所业务工作角度，研究基于 DeSci 与 AI4S 的新型科研范式。

本文的主要结构安排为：第 1 节介绍平行科研院所体系设计，阐述其基本框架、整体架构及关键技术；第 2 节介绍平行科研院所的主要特征，指出其在架构设计、决策技术以及创新范式方面的优势；第 3 节介绍平行科研院所的典型应用场景；第 4 节总结全文并展望后续研究工作。

### 1 平行科研院所体系设计

平行科研院所就是基于 ACP 和平行智能理论，构建与实际科研院所相对应的一个或多个平行科研院所，与实际科研院所形成虚实互动、闭环反馈。针对实际科研院所中的各项管理和业务决策，利用计算实验方法在平行科研院所中设计计算实验场景，对相关策略与措施进行实验与评估，指导实际科研院所的管理工作与业务开展，通过实际科研院所与平行科研院所之间的平行执行和互动反馈，实现对实际科研院所的描述、预测和引导。

#### 1.1 基本框架

基于平行智能理论的平行科研院所基本框架如图 1 所示，主要包含 3 个部分。

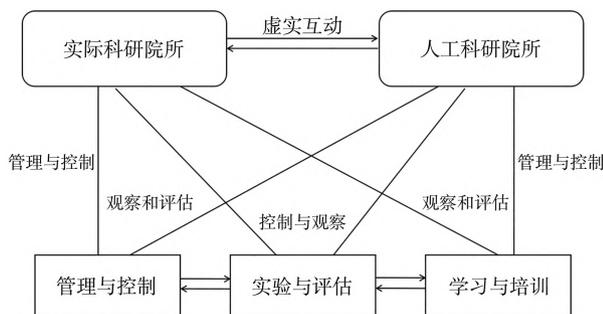


图 1 平行科研院所的基本框架

(1) 人工科研院所建模：通过软件定义、数字孪生、Agent 建模、DAO、元宇宙等方法与技术，在虚拟空间中构建实际科研院所中科研人员、科研设备、科研场所等物理实体的数字化形式，实现对实际科研院所的描述。根据科研决策场景的不同，每一个实际科研院所可以有一个或多个平行科研院所与之对应。

(2) 计算实验：根据实际科研院所面临的科研项目、科研资源分配、教育与培训等管理与业务决策场景，在平行科研院所中构建与之对应的计算实验环境，并通过平行学习、博弈演化、数据分析与挖掘等方法，对管理与决策方案进行评估与优化，从而指导实际科研院所的管理工作与业务开展。此外，计算实验方法可以为实际科研院所中无法实验或重复实验的决策提供一种有效的实验方案，并对科研院所不同决策方案下的未来状态进行推演预测，从而为科研院所的管理与决策制定提供重要依据。

(3) 平行执行：平行运行，根据实际科研院所中的运行状态调整人工科研院所的相关参数，再将人工科研院所中的最优决策和运行结果反馈到实际科研院所，引导其向最优状态不断逼近。通过实际科研院所与平行科研院所的平行执行与互动反馈，可以引导实际科研院所不断向设定的目标收敛，从而基于平行科研院所实现对实际科研院所的高效管理与控制。

通过平行运行与互动反馈，可以实现对实际科研院所的管理与控制、实验与评估、学习与培训。

管理与控制：平行运行，根据实际科研院所的实时状态来更新人工科研院所的相关参数，同时根据平行科研院所的运行结果来指导实际科研院所的运行，通过二者的互动反馈与相互借鉴，实现对实际科研院所的管理与控制。

实验与评估：针对实际科研院所中面临的各种管理与业务决策场景与问题，在平行科研院所中设计相对应的计算实验场景，通过计算实验分析与探索特定场景下不同决策方案所产生的系统状态和对应的决策结果，并据此评估不同决策方案的效果，从而为实际科研院所中的决策提供理论支撑。

学习与培训：依据实际科研院所中的学习与培训需求，在平行科研院所中构建与之对应的虚拟学

习与培训中心，并通过可视化、互操作、场景设计等方式，针对每个管理人员和科研人员的具体需求，定制个性化的学习与培训方案。此外，通过虚实互动、闭环反馈的方式，提供个性化的学习与培训指导，同时对学习与培训效果进行实时跟踪，并据此对其学习与培训方案进行实时调整与优化，从而最大限度地提升科研院所人员的学习与培训效率及效果。

## 1.2 整体架构

平行科研院所不是对实际科研院所进行简单的数字化表示，而是作为实际科研院所的决策实验室，综合运用人工智能、区块链、元宇宙、DAO等新兴技术，通过虚实交互的方式实现数字化建设、分布式治理与智能化决策，并创新科研范式，最终形成智能化的科研院所，其整体架构如图2所示。

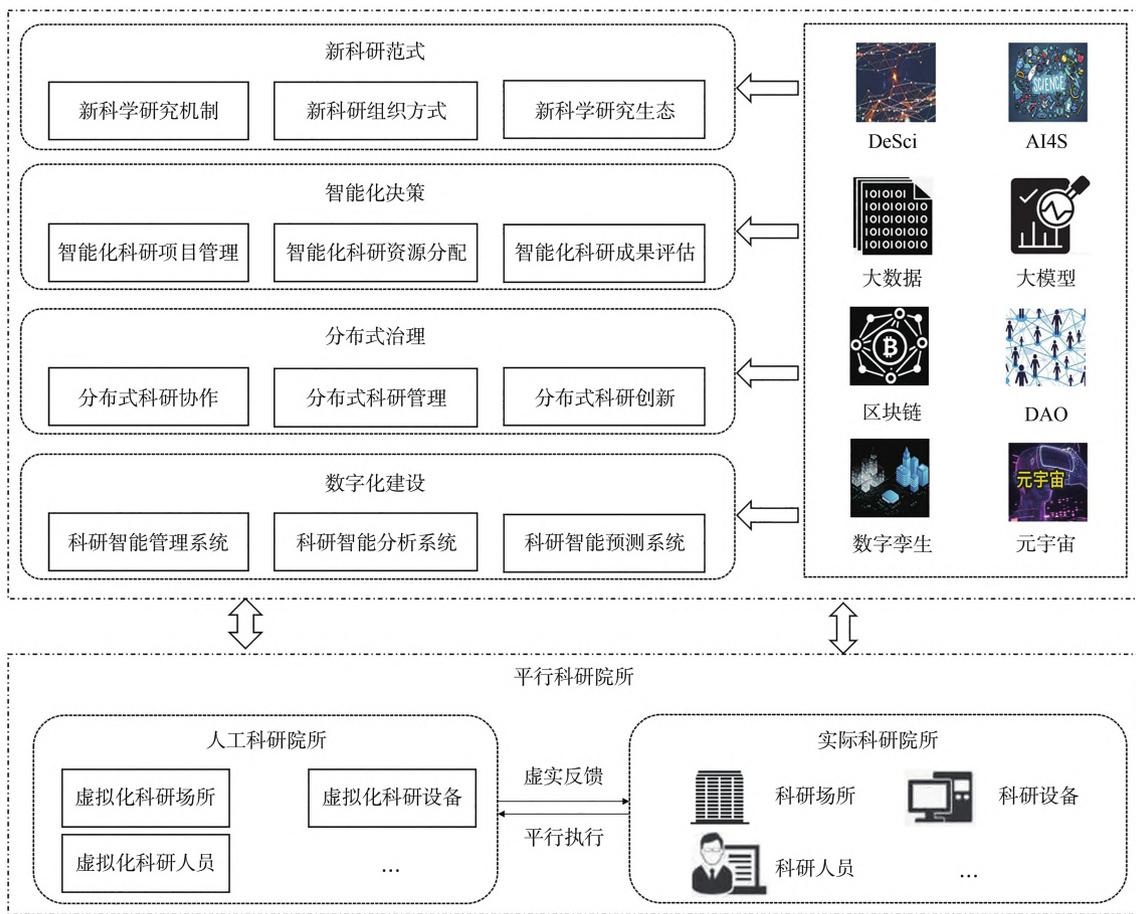


图2 平行科研院所的整体架构

科研院所主要从事探索性、创造性科学研究活动，科研设施和科研人员是其运行过程中的核心组成部分。因此，在人工科研院所建模时，需要重点考虑科研设施与科研人员的虚拟化建模。

### (1) 科研设施虚拟化建模

针对科研设施的虚拟化建模主要包含科研院所硬件基础设施和科研运营数据的虚拟化。首先，基于社会物理信息系统（CPSS）建模理论<sup>[4]</sup>，对科研院所的诸多硬件（如科研场所、科研设备、科研系统等）进行虚拟数字化。借助Unity、3DS Max、

Google 3D Warehouse 等开源或商业游戏引擎与三维建模软件，以及机理模型、代理模型、数据驱动模型、仿真模型等建模方法，对实际科研院所的硬件进行数字化建模和软件化定义，构建与实际科研院所相对应的人工科研院所。同时，结合计算机视觉、模拟仿真、场景工程等相关技术对科研院所日常科研活动中涉及的科研项目管理、科研经费管理、学术交流和合作等科研场景进行特征和属性提取，并据此在人工科研院所中构建与之相对应的虚拟科研场景，从而实现科研院所的虚拟化科研环境

建模。其次,利用大数据采集、传感器等数据采集方式,获得实际科研院所运行所产生的各项数据,主要包括科研院所运营数据、资产数据、财务数据、科研项目数据、科研活动数据、科研成果转化数据、科研人员相关数据等,这些数据包含隐私数据和非隐私数据。为了避免隐私泄露风险,在构建人工科研院所时,非隐私数据可以直接使用,而隐私数据则需要利用机器学习、强化学习等人工智能算法以及联邦数据方法对隐私数据进行计算分析,分析结果通过加密算法加密后才能使用。

在设施虚拟化过程中,可以清晰地展示实际科研院所的运行状态和所面临的科研工作场景,借助物联网、传感器等技术可以实时感知科研院所的最新状态,并据此更新人工科研院所,以保证二者的一致性。人工科研院所可以作为实际科研院所的决策实验室,用来评估实际科研院所中各类管理与科研决策的运行效果,从而辅助实际科研院所的各项管理与业务决策。此外,人工科研院所借助理物模型、统计学方法和人工智能算法对实际科研院所的历史数据和实时感知数据进行分析,从而对实际科研院所进行多尺度、多分辨率建模,通过跨物理空间、信息空间和网络空间的感知数据,展示科研院所的整体运作情况。

## (2) 科研人员虚拟化建模

科研人员是实际科研院所中科研业务工作的主体。与之相对应,在人工科研院所中,虚拟科研工作的主体则是数字科研人员。因此,科研人员层虚拟化建模实际就是在人工科研院所中构建与实际科研人员相对应的数字科研人员。

根据实际科研院所中每一位科研人员的科研领域、科研水平、科研分工、创新能力、前瞻能力等个性化特征,为他们构建与之相对应的多个数字科研人员。这些数字科研人员不仅具备特定领域的专业知识、科研能力,以及学术交流与合作能力,还拥有个性化的特质,包括性格特点、思维方式、科研方式与科研水平等。在人工科研院所中,这些数字科研人员主要以3种形式存在,具体如下。

**描述数字科研人员:**用于刻画实际科研人员在当前状态下的科研领域、科研水平、科研分工、专业能力、思维方式、性格特征等多维属性,是对实际科研人员的虚拟抽象与分身,可以代替实际科研人员执行特定科研任务。

**预测数字科研人员:**针对每项科研任务,从实

际科研人员的当前状态出发,通过计算实验进行演化分析,根据其专业知识水平、科研能力、科研经验、前期科研任务完成情况、前期参与的科研任务与该科研任务的关联性、该科研任务所需的专业知识等,预测其完成该项科研任务的概率、时限和质量。

**引导数字科研人员:**针对每一项科研任务,通过不断的实验试错和搜索寻优,获得科研人员完成该科研任务的最优状态,包括专业知识领域和水平、科研资源配置、科研任务的执行思路与方案、科研任务效果的衡量与评估手段等,并据此引导实际科研人员通过各种方式和途径向该最优状态发展与逼近,以保证科研人员以最好的状态来完成该项科研任务。

在人工科研院所中,数字科研人员也会像实际科研人员一样不断地学习与提升,它们会在参与完成任务的过程中,基于自我驱动或外部驱动的个体化方式获得新知识和技能,以更好地支持更复杂更困难的科研任务。同时,数字科研人员之间基于平行学习、演化博弈等方法,在实时交互以及与科研任务协同过程中,以群体化方式获取新的科研专业知识和科研经验。此外,数字科研人员在与实际科研人员交互的过程中不断学习他们的科研思维方式、科研开展思路、科研挑战应对措施等,以丰富和提升其智能化特征,从而满足人工科研院所中不同科研任务的需求。

## 1.3 关键技术

平行科研院所的实现依赖于数字孪生、元宇宙、区块链、DAO、AI等技术的支持。这些技术在不同方面赋予科研院所与科研人员关键功能和能力,确保平行科研院所的智能化变革与多样可持续发展。

### (1) 基于数字孪生与元宇宙的数字化建设

数字孪生与元宇宙是平行科研院所数字化建设的工程与场景技术。数字孪生技术通过数字化映射和实时交互,从“由实生虚”的工程角度,支持科研院所的数字建模过程;而元宇宙通过虚拟化和数字化扩展,从“无实生虚”的场景角度,提供丰富的场景和功能实验支持,从而在平行科研院所的数字化实现中发挥关键作用。

数字孪生技术通过将物理系统的结构、行为和性能以数字形式呈现,实现了物理系统向虚拟空间的数字化映射和两者的实时交互。这使得科研院所可以在虚拟世界中创建与物理组织精确对应的数字

化模型，并通过与实际系统的连接和数据交换，实现对物理系统的监测、控制和优化。数字孪生技术利用物联网、大数据分析、机器学习和仿真等技术，处理超大规模多源数据，挖掘复杂的规律与知识，为科研院所生成超越人类局部次优决策的全局最优策略。

然而，基于数字孪生创建的人工科研院所本质上是物理系统的镜像式反映，缺乏独立性，并且很少考虑到由人类行为和关系构建的社会网络。元宇宙则为平行科研院所的构建提供了场景技术。元宇宙是与实际世界平行的虚拟世界，通过数字孪生、扩展现实、增强现实和区块链等技术，实现了对现实世界的虚拟化和数字化扩展。元宇宙通过信任构建、数字身份和虚实融合应用，将虚拟世界与现实世界紧密联系起来，重塑了信任体系和组织方式<sup>[15-16]</sup>。在平行科研院所的构建中，元宇宙提供了丰富的场景技术，为科研院所的功能实验过程提供了支持。

#### (2) 基于区块链与DAO的分布式治理

区块链与DAO是平行科研院所的自主组织与运营技术。区块链作为一种分布式账本技术，能够确保数据的安全性、可追溯性和不可篡改性<sup>[17-18]</sup>，为科研院所提供了可靠的数据存储和验证机制。通过将科研数据、实验结果和知识产权等重要信息记录在区块链上，科研院所可以实现透明度和可信度的提升，同时保护数据的安全性，实现防篡改。

DAO则为平行科研院所提供了一种分布式决策机制和自主治理结构<sup>[19-21]</sup>。DAO通过基于所有权变革的链上链下协同治理机制以及智能合约驱动的无人干预自主执行模式，确保了科研院所人员的可信自治。平行科研院所中的科研人员和利益相关者，与机器人、数字人共同协作，提高效率；同时，通过民主投票和提案来建立更公平的生产关系，实现更均衡的价值分配。这种分布式的自主治理模式确保了决策的公正性和一致性，减少了中心化机构的权力垄断，提供了更加民主和开放的科研环境。

#### (3) 基于多模态大数据与大模型的智能化决策

多模态大数据与大模型是平行科研院所的智能决策技术。大数据指海量、高速生成的结构化和非结构化数据，具有多模态、多样性、高速性和高复杂性等特点。在平行科研院所中，大数据技术可以用于收集、存储和分析科研数据、实验结果、文献信息等，帮助科研人员发现新的模式、关联和趋

势。同时，人工科研院所中的大数据与小智能范式弥补实际数据在时间、空间、尺度、来源等方面的不足，在实际数据的基础上，通过计算实验，产生虚拟大数据，采用对偶技术虚实互动，修订、补足和平滑数据<sup>[22]</sup>，从而帮助平行科研院所做出更准确的决策，预测未来的科研趋势，优化资源分配，实现科研的创新。

此外，以大模型为代表的通用AI技术被用于大数据的训练和优化，通过机器学习、深度学习、平行学习等技术从数据中学习和提取规律，以产生通用领域知识，辅助科研决策和预测，从而解决复杂科研问题<sup>[23]</sup>。在平行科研院所中，大模型可以用于模拟、描述、预测、引导、优化科研过程和结果，帮助科研人员做出更精确的科研决策，提高研究效率和质量。

#### (4) 基于DeSci与AI4S的科研范式

DeSci与AI4S是平行科研院所多样可持续性发展的核心研究范式<sup>[24]</sup>。DeSci通过智能数字技术的融合，将自下而上和自上而下的决策与服务结合，形成一个生态性的科学活动系统。它涵盖了资助、组织、培训、规划、协调、调度、收集、分配等方面，将科研过程中的各个环节整合为一个整体。通过DeSci，科研活动可以更加开放和透明，破除了传统科研中的偏见、信息孤岛和寡头统治等问题。同时，DeSci也有助于将科学价值归还给知识生产者，使科研机构成为更高效的数字化组织。

AI4S则是将AI技术应用于科学研究的范式。它利用AI的算法和模型，为科研人员提供更高效的工具和方法。AI4S在文献分析、实验设计、作品展示、知识创作、知识审查等方面发挥了重要作用，提高了科学研究的效率和质量。通过AI4S，科研人员可以更快速地处理和分析大量的数据，挖掘数据中的模式和关联，为科研决策提供更准确的支持<sup>[25]</sup>。

DeSci、AI4S的发展相互补充和促进，形成了确保平行科研院所发展的新科学范式——平行科学。平行科学利用数字人理论科学家和机器人工程师构建平行领域的研究，如平行物理、平行化学、平行材料、平行生物、平行医学、平行经济、平行艺术、平行哲学等<sup>[26-27]</sup>。平行科学的发展推动了不同领域之间的交流和合作，加速了科研成果的应用，并为可持续智能产业和智慧社会的发展提供了基础和保障。

## 2 平行科研院所的主要特征

基于平行智能理论及 AI、元宇宙、DAO、区块链、DeSci、AI4S 等新兴技术, 平行科研院所通过数据与知识混合驱动的虚实闭环反馈以及人机混合的分布式智能决策, 促使科研院所的数字化转型与智能化变革。同时, 平行科研院所利用多样可持续的科技创新范式, 开创适应智能时代发展的科研创新生态。

### 2.1 数据与知识混合驱动的虚实闭环

数据与知识混合驱动的虚实闭环是平行科研院所的核心特征。平行科研院所利用数字孪生、元宇宙等技术构建与实际科研院所平行运行的人工科研院所, 并在人工科研院所中基于生成式对抗网络、代理技术、机器学习等方法, 对科研运营、科研资产、科研项目、科研活动以及科研人员等相关多模态实际数据进行扩充, 利用实际“科研小数据”生成虚实“科研大数据”, 这些数据将各类管理和科研业务场景规则化、数字化和知识化, 形成科研运营规则库、科研运营知识库。在此基础上, 采用机器学习、大模型等人工智能算法从科研大数据中凝练和生成科研领域知识, 并据此构建科研领域知识库和数据与知识闭环驱动机制, 基于学习与规约、实验与推理等计算实验方法, 实现由虚实结合的“科研大数据”到面向特定科研场景的“小知识”、再由特定科研场景的“小知识”到虚实结合的“科研大数据”的闭环反馈。通过特定科研场景的“小知识”的灵活配置, 形成面向特定科研场景的从“科研大数据”到“科研小智能”的知识精准提取过程, 为实际科研院所提供精准的知识与决策。在此基础上, 利用 ACP 方法实现人工科研院所和实际科研院所的平行运行和协同演化, 通过数据驱动的描述智能、实验驱动预测智能, 以及互动反馈的引导智能, 实现人工科研院所与实际科研院所的双向引导与虚实反馈闭环, 从而实现数据与知识混合驱动的实际科研院所的决策智能化。

### 2.2 人机混合的分布式智能决策

人机混合的分布式智能决策是平行科研院所实现高效运营的关键特征。以大模型为代表的 AI 技术的应用能够辅助科研人员做出准确预测和最优抉择, 让平行科研院所拥有对科研管理、评估、资源分配进行智能化决策的能力。AI 赋予的数据分析能力及知识学习与获取能力将为决策提供有力支

撑, 而科研人员与管理人员则拥有最终的选择权和决策权。同时, 平行科研院所给每个人员配上了合适的机器人与数字人助理, 让他们完成繁琐的科学计算、数据收集、文章撰写等工作, 而生物人则将重心聚焦在新的科研发现、创造及结果分析等更高级和创新的工作上。此外, 人工科研院所中的数字人还可以通过计算实验引导生物人在新的模式与策略下逐步逼近理想的目标。

区块链、DAO 等技术则使得生物人与机器人、数字人等在分布式网络中进行可靠协作, 因为它们能够保证平行科研院所内价值和权利的公平分配, 避免出现官僚主义、契约风险及代理人问题等<sup>[28]</sup>。平行科研院所通过分布式治理模式的改良, 能够避免现有权利与资源垄断问题, 实现真正的分布式民主决策。同时, 智能合约在去中心化无信任网络中的运用, 将使得平行科研院所的决策机制更加自动化和透明化, 降低了由人为错误和操纵带来的风险, 从而实现了决策的智能化。

### 2.3 多样可持续的科技创新范式

多样可持续科技创新范式是平行科研院所实现科研创新的核心驱动特征。平行科研院所采用分布式民主方式管理科研中的资源分配、科研决策及价值流转, 从而解放了研究人员的创造力和生产力, 解决了传统科研院所中资助偏见、信息和价值孤岛、官僚主义等痛点。借助 AI 技术及 AI4S 的理念, 平行科研院所可以使有限资源的研究组织和个人, 利用大语言模型能力快速地解决复杂问题和展开科学研究, 从而提升科研创新的效率。

此外, 平行科研院所通过合理的工具、结构、治理、激励、组织、运营等手段, 采用自下而上的知识发现方法、开放共享的知识管理方式及基于分布式智能的知识自动化模式, 构建了多样性可持续的科技创新范式。

## 3 平行科研院所的典型应用场景

平行科研院所通过人工科研院所与实际科研院所的平行运行与虚实闭环反馈, 可以实现对实际科研院所的描述、预测和引导, 从而极大地提升科研院所的科研效率, 激发科研创新活力。未来, 平行科研院所有望在许多科研场景中发挥重要作用, 本节将探讨其典型应用场景, 以期平行科研院所模式的进一步探索与创新提供参考和借鉴。

科研流程与决策优化: 平行科研院所通过构建

与实际科研系统平行运行的人工科研系统，在人工科研系统中构建虚拟科研流程与虚拟决策场景，并设计相关计算实验场景对其进行评估，从而指导实际科研流程和科研决策的优化，最大限度地提升科研效率。同时，借助DAO、DeSci等技术，可以实现科研流程与决策的透明性和去中心化，从而提高科研流程与决策的公正性和可信度。此外，采用机器学习、大模型等AI算法，对与虚实科研流程与决策相关的大数据进行深入分析和挖掘，获得数据之间潜在的关联、规律和趋势，可以为科研流程与决策制定与优化提供科学依据和指导。

**科研项目管理：**平行科研院所可以为项目管理提供创新的解决方案，提升科研项目管理效果和执行效果。利用数据驱动的决策支持技术，平行科研院所可以通过实时收集、分析和挖掘与项目相关的数据，如项目整体进度、阶段性目标完成情况、经费执行情况等，辅助其项目管理，帮助科研人员实时跟踪科研项目的进度，精准把握当前存在的问题与挑战，以及潜在问题与风险，从而调整其项目执行方案与管理决策，降低项目风险和不确定性，提升项目执行效果。此外，基于区块链、智能合约等技术，平行科研院所可以实现项目的分布式自动管理，以及执行过程的公开透明性和可追溯性，并通过合理的激励机制设计促进项目组成员的分布式合作与协作，以及项目资源的合理分配与使用，从而帮助项目团队更好地规划、执行和评估科研项目，提升项目完成效率和质量。

**科研成果转化：**平行科研院所在科研成果转化方面发挥着重要作用。通过虚拟环境的模拟与实验、虚拟市场场景构建，以及基于机器学习、数据挖掘等智能技术的科研成果多维度分析与对比，可以帮助科研人员分析其科研成果的技术可行性、市场需求与定位和竞争优势，从而评估其科研成果在市场上的应用价值和商业化潜力。此外，平行科研院所可以为科研成果转化的商业模式设计提供有力支撑。在人工科研院所中，科研人员可以根据市场规模、盈利模式、商业合作等因素设计多种计算实验场景，并通过实验参数的调整，帮助科研人员更好地理解商业模型的运作和影响因素，调整与优化其商业模式，帮助科研人员制定精准可行的科研成果商业化策略和决策，提升科研成果转化的效率和社会价值。

**教育与培训：**通过提供个性化的学习计划、沉浸式的学习体验和广泛的学习资源，平行科研院所

在教育与培训领域具有广阔的应用前景，可以为科研人员提供更加灵活、高效和个性化的学习机会，促进他们的专业能力提升和学术发展。借助元宇宙、虚拟现实等新兴技术，平行科研院所可以为科研人员提供沉浸式的教育与培训体验，为他们创造出一种身临其境的学习和实操环境，使得科研人员可以在虚拟实验室中进行实验操作、观察科学现象，以及与虚拟科研团队成员进行互动和合作，打破时间和地点的限制。同时，平行科研院所可以根据每个科研人员的研究领域、兴趣爱好、学习进度等个人信息，为其量身定制个性化的学习计划和培训课程，通过分析科研人员的学习效果和反馈，实时调整其学习内容和难度，从而确保学习过程与个人需求相匹配，并针对其遇到的问题进行实时指导。此外，平行科研院所还可以整合在线教育资源和知识共享平台，为科研人员提供广泛的学习资源和知识共享平台，使其可以通过在线课程、研讨会、论坛等途径，与全球范围内的科研人员进行交流和合作，拓展国际视野，开拓科研思路，从而提升其科研水平和科研创新能力。

## 4 结束语

随着区块链、元宇宙、DAO、大模型等新兴技术的发展与广泛应用，以及网络化和数字化趋势的日益加剧，基于平行智能理论的平行科研院所已成为当前科研院所建设与发展的必由之路，对于创新科研院所运营模式、激发科研院所创新活力、变革科研范式具有重要的意义和价值。本文基于平行智能理论，提出平行科研院所的基本框架和整体架构，并探讨区块链、元宇宙、DAO、大模型、DeSci等关键技术在平行科研院所中所发挥的重要作用，以及平行科研院所的主要特征和典型应用场景。本文的工作不仅有助于构建公开、公平、公正的科研环境，以及可信、可靠、可用和高效的智慧科研生态，还可以为科研院所的智能化变革提供重要的理论支撑。

## 参考文献：

- [1] WANG S, DING W W, LI J J, et al. Decentralized autonomous organizations: Concept, model, and applications[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2019, 6(5):870-878.
- [2] 李娟娟, 秦蕊, 丁文文, 等. 基于Web3的去中心化自治组织和运营新框架[J]. 自动化学报, 2023, 49(5):985-998.
- LI J J, QIN R, DING W W, et al. A new framework for Web3-powered decentralized autonomous organizations and operations[J]. Acta Auto-

- matica Sinica, 2023, 49(5): 985-998.
- [3] QIN R, DING W, LI J, et al. Web3-based decentralized autonomous organizations and operations: Architectures, models and mechanisms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2023, 53(4):2073-2082.
- [4] WANG F-Y, DING 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.
- [5] DING W, HOU J, LI J, et al. DeSci based on Web3 and DAO: a comprehensive overview and reference model[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2022, 9(5): 1563-1573.
- [6] DING W, LI J, QIN R, et al. A new architecture and mechanism for decentralized science MetaMarkets[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2023, doi: 10.1109/TSMC.2023.3266223, accepted.
- [7] WANG F Y, YANG J, WANG X, et al. Chat with ChatGPT on industry 5.0: learning and decision-making for intelligent industries[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2023, 10(4): 831-834.
- [8] WANG F Y, LI J, QIN R, et al. ChatGPT for computational social systems: from conversational applications to human-oriented operating systems[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2023, 10(2): 414-425.
- [9] 李娟娟, 王戈, 王晓, 等. 加密管理: 一种基于区块链的新型组织管理模式[J]. 智能科学与技术学报, 2022, 4(2): 145-156.  
LI J J, WANG G, WANG X, et al. Crypto management: a novel organizational management model based on blockchain[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2022, 4(2):145-156.
- [10] LI J J, QIN R, WANG F Y. The future of management: DAO to smart organizations and intelligent operations[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2022, 53(6):3389-3399.
- [11] 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.
- [12] WANG F Y, WANG X, LI L, et al. Steps toward parallel intelligence [J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2016, 3(4): 345-348.
- [13] WANG F-Y. Parallel intelligence in metaverses: welcome to Hanoi! [J]. IEEE Intelligent Systems, 2022, 37(1):16-20.
- [14] QIN R, YUAN Y, WANG F Y. Blockchain-based knowledge automation for CPSS-oriented parallel management[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2020, 7(4): 1180-1188.
- [15] WANG F Y, QIN R, WANG X, et al. Meta-societies in metaverse: Metaeconomics and metamangement for metaenterprises and metacities[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2022, 9(1): 2-7.
- [16] WANG Y, TIAN Y, WANG J, et al. Integrated inspection of QoM, QoP, and QoS for AOI industries in metaverses[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2022, 9(12): 2071-2078.
- [17] QIN R, YUAN Y, WANG F Y. A novel hybrid share reporting strategy for blockchain miners in PPLNS pools[J]. Decision Support Systems, 2019, 118: 91-101.
- [18] QIN R, YUAN Y, WANG F Y. Optimal block withholding strategies for Blockchain mining pools[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2020, 7(3): 709-717.
- [19] 王飞跃. 平行管理: 复杂性管理智能的生态科技与智慧管理之 DAO[J]. 自动化学报, 2022, 48(11): 2655-2669.
- WANG F Y. Parallel management: The DAO to smart ecological technology for complexity management intelligence[J]. Acta Automatica Sinica, 2022, 48(11): 2655-2665.
- [20] WANG G, QIN R, LI J J, et al., A novel DAO-based parallel enterprise management framework in Web3 era[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2023, doi: 10.1109/TCSS.2023.3239059, accepted.
- [21] WANG F W, DING W, QIN R, et al. Parallel philosophy for MetaOrganizations with MetaOperations: from Leibniz's monad to HanoiDAO[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2022, 9(3): 658-666.
- [22] 刘昕, 王晓, 张卫山, 等. 平行数据: 从大数据到数据智能[J]. 模式识别与人工智能, 2017, 30(8): 673-681.  
LIU X, WANG X, ZHANG W S, et al. Parallel data: From big data to data intelligence[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2017, 30(8): 673-681.
- [23] 卢经纬, 郭超, 戴星原, 等. 问答 ChatGPT 之后: 超大预训练模型的机遇和挑战[J]. 自动化学报, 2023, 49(4): 705-717.  
LU J W, GUO C, DAI X Y, et al. The ChatGPT after: opportunities and challenges of very large scale pre-trained models[J]. Acta Automatica Sinica, 2023, 49(4): 705-717.
- [24] 王飞跃, 缪青海, 张军平, 等. 探讨 AI for Science 的影响与意义: 现状与展望[J]. 智能科学与技术学报, 2023, 5(1): 1-6.  
WANG F W, MIAO Q H, ZHANG J P, et al. The DAOs to AI for science by DeSci: the state of the art and perspective[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2023, 5(1): 1-6.
- [25] MIAO Q, HUANG M, LV Y, et al. Parallel learning between science for AI and AI for science: a brief overview and perspective[C]. Proceedings of 2022 Australian & New Zealand Control Conference. Piscataway: IEEE Press, 2022: 171-175.
- [26] WANG F W. The metaverse of mind: perspectives on DeSci for DeEco and DeSoc [J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2022, 9(12): 2043-2046.
- [27] MIAO Q, ZHENG W, LV Y, et al. DAO to HANOI via DeSci: AI paradigm shifts from AlphaGo to ChatGPT[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2023, 10(4): 877-897.
- [28] DING W W, LIANG X L, HOU J C, et al. A novel approach for predictable governance of decentralized autonomous organizations based on parallel intelligence [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2023, 53(5): 3092-3103.

## [作者简介]



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、DAO与平行管理。



梁小龙 (1989-), 男, 澳门科技大学创新工程学院博士生, 主要研究方向平行智能、区块链与DAO。



李娟娟（1986-），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、DAO与平行管理。



王雨桐（1994-），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助理研究员，主要研究方向为计算机视觉、图像异常检测。



丁文文（1990-），女，澳门科技大学创新工程学院博士生，研究助理，主要研究方向为DAO、DeSci、平行智能与平行管理。



田永林（1994-），男，中国科学院自动化研究所博士后，主要研究方向为自动驾驶、多模态感知、场景生成。



侯家琛（1986-），男，澳门科技大学创新工程学院博士生，主要研究方向为DAO、智能交通系统、分布式管理等领域。

文丁（1961-），男，北方自动控制技术研究所、中国科学院自动化研究所北京市智能化技术与系统工程技术研究中心、北京怀柔平行传感智能研究院资深研究员，主要研究方向为平行系统、平行智能、社会计算、知识自动化。