

## 平行奥森：智慧生态与健康生活共融的元宇宙公园

倪清桦<sup>1</sup>, 林飞<sup>1</sup>, 赵宸<sup>2</sup>, 黄峻<sup>1</sup>, 刘宇航<sup>2,3</sup>, 葛琳<sup>1</sup>, 鲁越<sup>4</sup>, 马思吉<sup>1</sup>, 王飞跃<sup>1,2,5</sup>

1. 澳门科技大学创新工程学院, 澳门 999078;
2. 中国科学院大学人工智能学院, 北京 100049;
3. 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;
4. 沈阳工业大学信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110870;
5. 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

**摘要:** 奥林匹克森林公园 (以下简称奥森) 作为全球城市公园设计的典范, 不仅是我国生态文明建设成果的展示窗口, 也是城市居民健康生活的重要场所。为进一步挖掘奥森的生态价值, 智能化地满足公众对健康生活的追求, 提出了平行奥森框架。该框架基于 ACP (artificial systems, computational experiments, parallel execution) 方法, 通过描述智能构建数字奥森, 利用预测智能分析生态系统变化, 引导智能规划健康活动, 最终实现奥森的智慧管理和价值拓展。在此基础上, 构建了平行奥森的元宇宙系统架构, 融合场景工程、多智能体建模与多模态大语言模型, 作为连接虚拟推演与现实执行的工程化载体。进一步, 探讨了平行奥森框架在生态资源监控、健康活动促进、自然教育等方面的应用, 并分析了其对传统公园运营模式的潜在影响。未来, 虚拟与现实世界的融合将为生态保护和健康生活方式的创新发展提供新思路, 持续推动城市公园的可持续发展。

**关键词:** 平行智能; 社会物理信息系统; ACP方法; 元宇宙; 智慧公园; 可持续发展

**中图分类号:** TP39

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.2096-6652.202608

## Parallel Olympic Forest Park: a metaverse park integrating smart ecology and healthy living

Ni Qinghua<sup>1</sup>, Lin Fei<sup>1</sup>, Zhao Chen<sup>2</sup>, Huang Jun<sup>1</sup>, Liu Yuhang<sup>2,3</sup>, Ge Lin<sup>1</sup>, Lu Yue<sup>4</sup>, Ma Siji<sup>1</sup>, Wang Fei-Yue<sup>1,2,5</sup>

1. Faculty of Innovation Engineering, Macau University of Science and Technology, Macao 999078, China
2. School of Artificial Intelligence, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
3. State Key Laboratory of Multimodal Artificial Intelligence Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
4. School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China
5. State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract:** As a model of urban park design worldwide, the Olympic Forest Park (OFP) serves as a paradigm of China's ecological civilization and a vital hub for urban well-being. To maximize the park's ecological value and address the growing public demand for healthy lifestyles, the "Parallel OFP" framework was proposed. Grounded in the ACP (artificial systems, computational experiments, and parallel execution) methodology, Parallel OFP utilized descriptive intelligence for digital modeling, predictive intelligence for ecosystem analysis, and prescriptive intelligence for operational guidance, greatly facilitating the smart management and value expansion of OFP. On this basis, we construct a metaverse architecture integrating scenario engineering, multi-agent modeling, and multi-modal large language models was con-

收稿日期: 2025-12-22; 修回日期: 2026-03-06

通信作者: 王飞跃, feiyue.wang@ia.ac.cn

基金项目: 澳门特别行政区科学技术发展基金资助项目 (No.0157/2024/RIA2, No.0093/2023/RIA2)

**Foundation Items:** The Science and Technology Development Fund of Macao Special Administrative Region (No.0157/2024/RIA2, No.0093/2023/RIA2)

structured to serve as the operational backbone bridging virtual simulation and physical execution. The deployment of Parallel OFP was discussed in ecological monitoring, health promotion, and environmental education, highlighting its potential to transform traditional management paradigms. Ultimately, by fusing the artificial and physical realms, Parallel OFP aims to drive innovation in ecological conservation and promote healthier lifestyles, contributing to the sustainable development of urban parks.

**Key words:** parallel intelligence, cyber-physical-social system, ACP method, metaverse, smart park, sustainable development

## 0 引言

城市公园作为城市生态系统的关键构成,有维护生态平衡、保护生物多样性、调节气候和参与水文循环等关键生态服务功能<sup>[1]</sup>。这些宝贵的绿色空间不仅为城市居民提供了净化空气、缓解生活压力的休闲场所,还通过促进社区成员间的交流互动,增强了社会凝聚力,成为城市生活中的重要组成部分。随着城市化进程的不断推进,城市公园的重要性日益凸显,它们不仅成为衡量城市生活质量的标尺,也是评价城市环境可持续性的重要指标。因此,城市公园的有效管理与维护,对于满足居民对绿色生态空间的需求、提升城市的生态承载力和推动可持续发展具有至关重要的作用<sup>[2]</sup>。

奥林匹克森林公园(以下简称奥森)作为全球城市公园设计的典范,融合了自然美学与人文关怀、生态原则与科技应用,致力于构建一个多功能、可持续发展的城市绿色空间<sup>[3]</sup>。作为2008年北京奥运会的重要场所,奥森不仅承担着改善城市环境的使命,而且随着时间的推移,通过不断的扩建和改造,其景观和功能实现了显著优化。园内植物种类丰富,绿地广阔,配备了完善的运动和休闲设施,成为北京市民生活中不可或缺的一部分。然而,面对科技进步和公众对健康生活方式需求的日益增长,传统的公园管理模式已显示出局限性<sup>[4]</sup>。一方面,传统管理模式下的感知手段单一,难以对大面积、多要素的生态环境与人流动态进行实时、全面而精细的感知;另一方面,传统管理模式决策高度依赖人工经验,在应对节假日极端客流或突发事件时,缺乏科学的推演预警与动态调控能力。与此同时,面对游客在运动偏好、游憩空间及自然教育等方面日益显著的差异化诉求,传统统一化服务方式的适配性不断下降。因此,如何提高管理效率和服务质量,推动生态文明与居民健康生活和谐发展,已成为奥森智慧化升级中亟须解决的核心问题。

在数字化时代背景下,元宇宙<sup>[5-6]</sup>、生成式人工

智能(artificial intelligence, AI)<sup>[7]</sup>等前沿技术不仅引领了智能管理的新趋势,也为城市公园的智能化转型升级提供了新的机遇。城市公园作为生态文明和人文关怀的交汇点,其管理任务的复杂性涉及社会和工程的多个层面,构成了一个复杂的社会物理信息系统(cyber-physical-social system, CPSS)<sup>[8-9]</sup>。因此,需要从系统科学的角度出发,将科技与生态保护紧密结合,通过多维空间的资源有机整合,实现奥森等城市公园的高效管理和统筹规划。平行智能理论及其ACP方法<sup>[10-12]</sup>正可为此类复杂公共空间的智能化管控提供一条系统化、可实施的范式支撑:ACP方法支持通过构建与现实奥森相对应的人工系统(artificial systems, A),实现对园区空间、设施、生态要素、游客行为和服务流程的数字化映射,从而突破传统管理中信息割裂和状态感知不足的限制;在此基础上,在人工系统中开展针对性计算实验(computational experiments, C)可以对客流组织、设施维护、生态养护、健康活动引导和安全应急等策略进行低成本、可重复、可比较的预演与评估,避免在现实场景中直接试错带来的高成本与高风险;最后,借助平行执行(parallel execution, P)机制,虚拟空间中验证优化后的策略能够动态反馈至现实系统,并根据现实运行结果持续修正模型与方案,形成“描述-预测-引导”的虚实闭环动态调控与迭代。

面向奥森这一典型且复杂的城市绿地空间,本文创新性地将其智能化理论引入其智能化管理实践中,构建了一套以ACP方法为技术核心的平行奥森框架。该框架打破了传统公园“被动响应”的局限,通过虚实平行交互策略,实现对公园运行状态的智能感知、动态评估与协同调控,为实现奥森等复杂公共空间的高效统筹与主动式智慧服务提供了切实可行的技术路径。为支撑策略生成、验证与公众交互服务的统一落地,本文进一步构建平行奥森的元宇宙系统架构:以场景工程组织多源数据与知识库,结合多智能体协同仿真,并引入多模

态大语言模型（multimodal large language model, MLLM）作为跨模态交互的统一入口，联动检索增强生成（retrieval-augmented generation, RAG）等组件实现知识检索与服务生成，贯通虚拟推演与现实部署。

## 1 奥森的历史、现状与面临的挑战

奥森位于北京市朝阳区，占地约6.8平方千米，是我国占地面积最大的城市公园之一，也是亚洲规模最大的城市绿化项目之一。它不仅是2008年奥运会特别设计的大型公共空间，承载着奥运会的历史荣耀，而且在新时代背景下，在生态环境、市民休闲、健康促进、科普教育、防灾避险等多方面展现出显著价值。

自2003年建设之初，设计人员就秉承“通往自然的轴线”的设计理念，将传统园林艺术与现代科技相结合，塑造了一个生态多样性丰富、景观层次分明的城市绿洲。公园被五环路自然划分为南北两区：北区以生态保护为核心，保留了丰富的自然地貌和植被群落，为动植物提供了理想的生长环境<sup>[13]</sup>；南区则以体育休闲功能为主，构建了大型自然山水景观，满足了市民的休闲娱乐需求。园内的标志性景观包括“仰山”和“奥海”。“仰山”在地理上与北京城中轴线上的“景山”相呼应，文化上与《诗经》中的“高山仰止，景行行止”相契合，体现了中国传统文化的对称、平衡与和谐之美。“奥海”则借“奥林匹克”之“奥”字，既有奥秘、奥妙之意，又寓指奥运精神长存不息，中国传统文化发扬光大。这些景观不仅丰富了公园的自然美景，也赋予了深刻的文化内涵，使“仰山”“奥海”成为奥运精神与中国传统文化的象征。

在新时代的国家发展战略背景下，国家层面出台了《“健康中国2030”规划纲要》《体育强国建设纲要》《“十四五”体育发展规划》以及《关于推进体育公园建设的指导意见》等一系列推动城市公园数字化、智慧化发展的政策。北京市通过了《北京市智慧公园建设指导书》和《北京市体育设施专项规划（2018年—2035年）》等地方性规划，进一步推进北京城市公园智能化建设的落地实施。作为城市公园智慧化改革的先锋，奥森依旧面临着多样化运营、个性化服务、生态可持续发展、文化宣教传承等一系列新的挑战。只有通过系统性的管理创新、科技创新、应用创新，借助智能感知、云

边协同、多模态大模型等新一代前沿技术手段，助力奥森管理升级、设施改造、服务完善，才能切实发挥奥森的社会价值、生态价值、文化价值、经济价值，满足城市未来发展需求，使其成为城市公园智能化转型的典范，为市民带来更加健康、便捷、丰富的生活体验。

奥森在信息和数据基础设施建设、游园个性化智慧服务、绿地和遗产智慧保护、内部业务智慧管理、动植物智慧监测与养护等方面已采取了多种措施和手段。例如在智慧设施的建设上，园区内设有多个电子屏幕，用于日常园区动态及智慧跑道信息展示，并在跑者服务站设置人机交互装置，游人可以通过屏幕获取运动热身提示等专业指导，通过运动健康数据监测、运动姿态捕捉矫正、跟踪服务指导等形式，实现线下科技运动场景应用和线上科学运动健康指导相结合。园区内投放的无人售卖车、机器人零售和智能伴游机器人等，为游客提供了更加便捷的服务与体验。

尽管奥森在生态功能、公共服务供给以及综合管理方面已取得一定成效，但在长期运行过程中仍面临一系列亟须应对的挑战。首先，作为城市公共服务与科普传播的重要载体，奥森在场地设施配置与服务运营体系方面仍存在提升空间<sup>[14]</sup>。其次，奥森的生态因子与人类活动之间存在复杂耦合关系，要通过长期监测和规划来提升整体服务能力<sup>[15]</sup>。此外，作为重要的城市绿色基础设施，其维持生态服务功能、与周边高密度城市环境的融合与协调仍需进一步的动态规划<sup>[16]</sup>。最后，不同游客群体在出行动机、空间偏好与体验需求方面存在明显差异，传统以经验为主的管理模式难以实现精细化响应，制约了公园服务质量与运行效率的进一步提升<sup>[17]</sup>。

## 2 平行奥森的理论框架

平行智能为基于CPSS的复杂系统提供了一种有效的控制和管理方法，其核心是ACP方法<sup>[18-19]</sup>。该方法针对在实际系统中难以通过传统方法建模和预测的问题，通过整合数据驱动、机理建模和经验建模等先进技术手段，首先构建软件定义的人工系统<sup>[20-21]</sup>。这些人工系统与实际系统通过虚实连接，实现闭环的数据、信息和控制交互过程。在这一过程中，ACP方法通过进行一系列定量、可执行、可重复的计算实验<sup>[22]</sup>，将在复杂系统中难以直接建模的部分具象化，从而显著增强系统的可理解性

和可控性。通过迭代优化和平行执行，ACP方法逐步引导实际系统向人工系统的理想状态靠拢，最终实现复杂系统的平行管理与控制。目前，平行智能和ACP方法已被广泛应用于各类复杂系统，如智能交通<sup>[23]</sup>、智慧医疗<sup>[24]</sup>、药物研发<sup>[25]</sup>、创意产业<sup>[26-27]</sup>、应急管理<sup>[28]</sup>和生产制造<sup>[29-30]</sup>等。

本文基于平行智能与ACP方法，提出了平行奥森框架，其理论结构如图1所示。该框架由实际奥森系统与人工奥森系统共同构成。其中，人工奥森系统依据实际系统的运行需求进行构建，用于对真实奥森的运行状态、资源配置与管理流程进行系统性表达与映射，该过程对应于平行智能中的描述智能。在此基础上，围绕公园运营管理中的关键问题，该框架引入计算实验与评估机制，将现实中的管理目标、约束条件与运行过程转化为可计算、可量化、可分析的实验数据与流程，该阶段对应于平行智能中的预测智能。进一步，计算实验的结果通过模型驱动与数据驱动相结合的方式，以学习、培训以及管理与控制等形式平行作用于实际奥森系统与人工奥森系统。在两者的虚实同步运行中，不断修正人工奥森系统并引导实际奥森系统的运行演化，从而形成可迭代优化的闭环机制，该过程对应于平行智能中的引导智能。

### 2.1 描述智能

描述智能面向实际奥森的运行与管理需求，构建与之对应的数字化人工奥森系统，其核心在于将现实需求转化为结构化、可计算的数字化描述，从而刻画公园运行涉及的关键场景、状态与参数变量。在实现方式上，描述智能可结合数字孪生（digital twin, DT）、软件定义系统与虚拟系统等技术手段，对系统的运行状态进行持续映射与更新。本质上，

描述智能承担着场景构建与场景表达的功能，使原本难以形式化的管理需求与运行过程转化为可被模型和算法处理的对象。作为平行奥森体系的基础环节，描述智能为预测智能和引导智能提供了必要前提。只有在对运行场景和需求进行准确描述的基础上，计算实验才能具备可执行性，虚实系统之间的平行交互才能有效展开。

在场地设施与服务运营层面，描述智能通过引入地理信息系统（geographic information system, GIS）与三维建模等技术手段，对园区空间结构、设施布局与服务形式进行系统建模。相关数据涵盖游客状态与空间位置、设施运行状态、服务供给能力以及日常管理措施等信息，从而实现对公园生态结构、休闲资源与文化要素的统一表达与关联刻画<sup>[31]</sup>。同时利用物联网（Internet of things, IoT）技术，描述智能实时监控公园设施的状态，预测维护需求，确保公园运营的高效和安全。

在生态环境监测与养护管理方面，描述智能整合来自环境监测系统的数据，对植被状态、水体环境、气候条件及其变化趋势进行持续记录与分析。其通过对生态要素时序特征的系统整理与更新，为生态养护决策提供稳定、可追溯的数据基础。

在游客秩序与安全治理方面，描述智能基于奥森的游客行为与运营管理数据，结合统计分析、机器学习等技术手段，构建面向游客体验与运行状态的综合知识库。该知识库通过对游客规模变化、空间聚集特征与行为模式的系统刻画，持续识别潜在的秩序风险与安全隐患，并形成对重点区域、关键时段和高风险行为的结构化认知。

### 2.2 预测智能

预测智能是基于描述智能构建的高精度人工奥

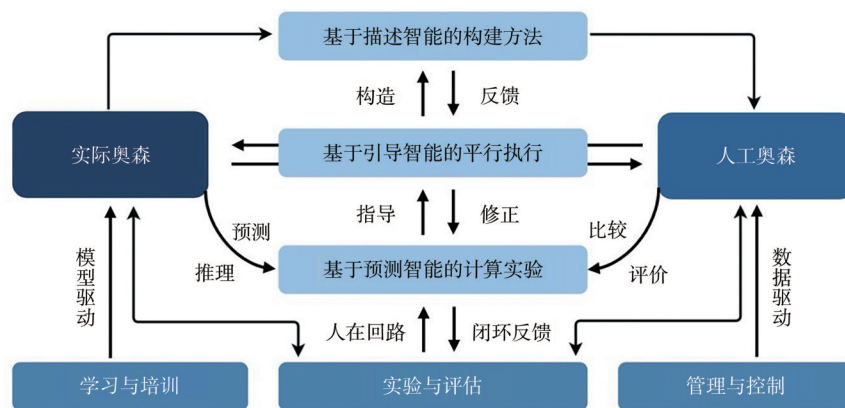


图1 平行奥森系统的理论框架

森系统，利用计算实验方法，将现实场景中的管理痛点转化为虚拟空间中的可计算问题。其通过在人工奥森中构建多样化的实验场景，对场地运营效率、生态养护需求及游客安全风险进行大规模、多粒度的模拟推演与量化评估，旨在为复杂约束条件下的管理决策提供科学依据。

在场地设施与服务运营方面，预测智能聚焦于服务资源的供需匹配与设施全生命周期管理。利用历史运营数据与服务设施模型，系统在虚拟空间中开展服务压力测试，模拟节假日高峰、大型赛事等不同情景下的服务网络运行状态，并评估服务资源在极限负荷下的承载韧性与流动特征。同时，针对跑道、灯光、卫生间等园区设施，通过采用老化衰退算法进行长时序推演，预测设施的损耗趋势与故障概率，从而在故障发生前计算出最优的预防性维护窗口。

在生态环境监测与养护管理方面，系统基于描述智能获取的植被与环境监测数据，结合气象预测模型与植物生长动力学模型，预测智能模拟园区生态系统在自然演替与人工干预双重驱动下的动态轨迹，推演气候变化、水资源波动等宏观环境因子对区域碳汇能力与生物多样性的潜在扰动，并支持量化比较不同生态修复路径与养护强度的干预效果，为制定具备高生态韧性的管理策略提供数据支撑。针对病虫害防治、水资源灌溉等具体养护任务，预测智能在虚拟环境中预先运行多种养护策略（如不同灌溉量、药剂投放时机），对比分析各方案在生态修复效率与资源消耗成本上的差异，从而筛选出兼顾生态效益与经济效益的最佳养护路径。

在游客秩序与安全治理方面，预测智能可实现人群行为动力学的建模与风险场景的推演。其通过多智能体仿真技术（agent-based simulation, ABS），基于虚拟个体以真实的社会属性与行为规则，模拟其在园区内的移动轨迹、聚集行为及对突发事件的反应，从微观交互涌现出宏观的人群流动规律。该系统重点对拥堵踩踏、儿童走失、突发医疗事件等高危场景进行多轮次计算推演，评估不同安保力量部署与疏散引导策略下，人群流动的时空分布特征与疏散效率及安全裕度，对应急预案的有效性进行验证与迭代优化。

相较于传统公园管理模式高度依赖人工经验与被动响应的局限性，平行奥森的预测智能打破了时空与资源的束缚。依托描述智能构建的高精度模

型，预测智能在虚拟空间中对场地运营、生态养护及安全治理等多维策略进行了大规模的计算实验与低成本试错，通过“虚实结合”的推演机制，实现对复杂管理场景效果的精准预判，为后续引导智能提供决策基础。

### 2.3 引导智能

引导智能是平行奥森系统的决策执行与效能提升环节，其核心在于建立人工奥森与实际奥森之间的双向闭环反馈机制。通过虚实系统的实时交互与协同演化，引导智能将计算实验筛选出的最优策略精准映射至现实管理流程中，并根据实际反馈动态校正执行偏差，实现奥森从被动响应向主动服务的智能化转型。

在场地设施与服务运营层面，引导智能依据预测智能推演计算的资源配置优化解，在规划层面提供兼顾技术可行性与经济合理性的设施布局优化建议与维护计划，并在日常园区运营过程中，结合实时客流数据与服务需求热力图，向运营团队输出针对性的人力资源配置方案与移动设施调度指令，例如动态调整售卖点位、优化保洁频次、重组安保巡逻路线等。同时，根据游客对特定服务设施的实时反馈，引导智能可迅速微调服务流程，提出关于活动排期优化、商业网点调整及个性化服务推送的操作建议，辅助实现公园服务效能与游客体验的双重提升。

在生态环境监测与养护管理方面，引导智能依托预测智能对生态演化趋势与养护效果的量化评估，通过综合分析，推荐符合可持续发展需求的最优生态保护方案（如精准灌溉配额、生物防治时机）。系统将这些策略转化为具体的执行参数，一方面直接驱动物联网设备（如智能喷灌系统、水质调节装置）执行自动化的微环境调节；另一方面向养护团队发送精确的工单指导，明确作业区域与技术要求。在执行过程中，引导智能实时监控环境因子的变化反馈，一旦检测到实际效果与预期存在偏差，即刻触发方案的动态校正与再优化，确保生态系统的稳定性与安全性。

在游客秩序与安全治理方面，引导智能辅助实现风险管控的前置部署与应急响应的自动化协同。基于预测智能对人群动力学与潜在风险场景的计算，引导智能及时提供安全管控方案，优化安保资源的预置点位，并自动化执行预设的分流措施。例如，通过智能诱导屏、广播系统及移动端推送，向

游客智能化发布实时路径规划建议与拥堵预警,主动平抑局部客流峰值。在应对突发公共安全事件时,引导智能依据预测的灾害演变路径,迅速生成最优应急响应方案至园区管理部门,以辅助其指挥调度以及与各类应急资源的敏捷协同。同时通过现场反馈与同步分析历史应急处置数据,引导智能持续优化应急预案的逻辑流程,不断提升公园应对复杂安全挑战的韧性。

在平行奥森架构中,描述智能、预测智能与引导智能构成了协同演化的有机整体。描述智能确立了物理系统的数字化全息映射,预测智能在虚拟空间拓展了决策试错的边界,而引导智能则打通了从虚拟优化到现实执行的关键链路。三者通过实时的数据流与控制流交互,构建起“感知-推演-执行-反馈”的闭环机制,驱动人工奥森与实际奥森在平行执行中不断迭代升级。这种机制从根本上重塑了传统公园的运营模式,推动管理决策从经验依赖转向数据驱动与知识引导,为城市生态空间管理从“被动治理”向“主动智慧”的范式跃迁提供了系统性的理论支撑。

### 3 平行奥森的元宇宙架构

平行奥森框架的有效运行高度依赖于相匹配的工程形态与底层交互载体。在平行智能中,人工奥森通常以软件定义系统的形式存在,用于支撑计算实验与策略生成。然而,当管理对象涉及开放公共空间、动态人群行为与社会参与机制时,仅依赖后台计算模型难以满足持续交互与多主体协同需求。因此,平行奥森框架进一步引入元宇宙,将其作为虚实融合的沉浸式系统载体。

元宇宙,即Metaverse,最早见于尼尔·斯蒂芬森1992年的科幻小说《雪崩》<sup>[32]</sup>。在当前技术语境下,元宇宙通常被界定为一种持续在线、实时同步的三维虚实融合空间,其核心特征包括数字身份映射、沉浸式交互以及物理世界的数据联动<sup>[33-34]</sup>。不同于单一虚拟现实系统,元宇宙强调计算空间与物理空间的深度耦合,使人、环境与智能体在统一场景中实现协同运行与动态演化<sup>[35]</sup>。

在本文框架下,元宇宙被界定为支撑ACP方法的交互基础设施。在该空间中,人工奥森不仅是决策模拟工具,更成为面向公众开放的数字化公共环境,使游客、管理者与智能体能够以数字映射的方式进入该环境,实现在线协同与动态交互。元宇

宙的引入使ACP方法由后台决策逻辑拓展为可参与的虚实共生系统,从而在统一架构下整合管理逻辑、空间表达与人机交互。

图2展示了平行奥森系统的元宇宙架构。该架构以ACP方法为核心,在元宇宙生态架构的基础上,通过人工系统构建、计算实验仿真与平行执行3层协同运行,实现虚拟空间与现实空间的持续同步与动态演化,为复杂公共空间的协同治理与智能服务提供工程化支撑。

#### 3.1 人工系统

在平行奥森的元宇宙架构中,人工奥森不再仅作为后台决策模型存在,而是被构建为一个持续在线、实时同步的三维数字空间,作为虚实融合运行的核心载体。人工奥森的构建依托于CPSS空间的多源数据采集体系,数据来源涵盖人员信息、设施信息、环境状态与活动过程等多个维度,为数字空间的建模与动态更新提供了基础支撑。在此基础上,人工奥森既承担计算实验与策略推演功能,也构成面向公众开放的沉浸式交互环境,使管理者、游客与智能体能够在统一数字场景中实现协同参与和动态反馈。

在空间构建层面,系统通过GIS、三维激光扫描和卫星遥感技术,对奥森的地形结构、植被分布与水系格局进行高精度数字重建<sup>[36-37]</sup>,并结合IoT实时感知数据,实现物理空间与数字空间的持续映射与动态同步。多尺度建模技术不仅支持生态要素的演化模拟,也支撑虚拟场景的实时渲染与空间更新,使数字奥森具备与现实环境联动的运行能力。

不同于传统数字孪生模型的静态表达,在元宇宙框架下,人工奥森强调空间可进入性与身份映射机制。游客可通过数字身份接入虚拟奥森,实现沉浸式浏览、活动参与和服务互动;管理者可在同一空间中进行策略测试与场景验证;智能体则作为自主决策单元参与运行协同。通过这种多主体在线协同结构,人工奥森由决策辅助工具演化为数字公共空间。

在数据组织层面,场景工程技术发挥了关键作用<sup>[38]</sup>。多源异构数据经融合处理后构建为结构化知识体系,并通过元数据机制对空间对象、事件与行为进行统一描述与关联组织,使虚拟空间具备可检索、可计算与可交互能力。在此基础上,依托Unity<sup>[39]</sup>、Maya<sup>[40]</sup>等虚拟场景开发工具完成三维空间建模与实时渲染,实现沉浸式游览、信息可视化

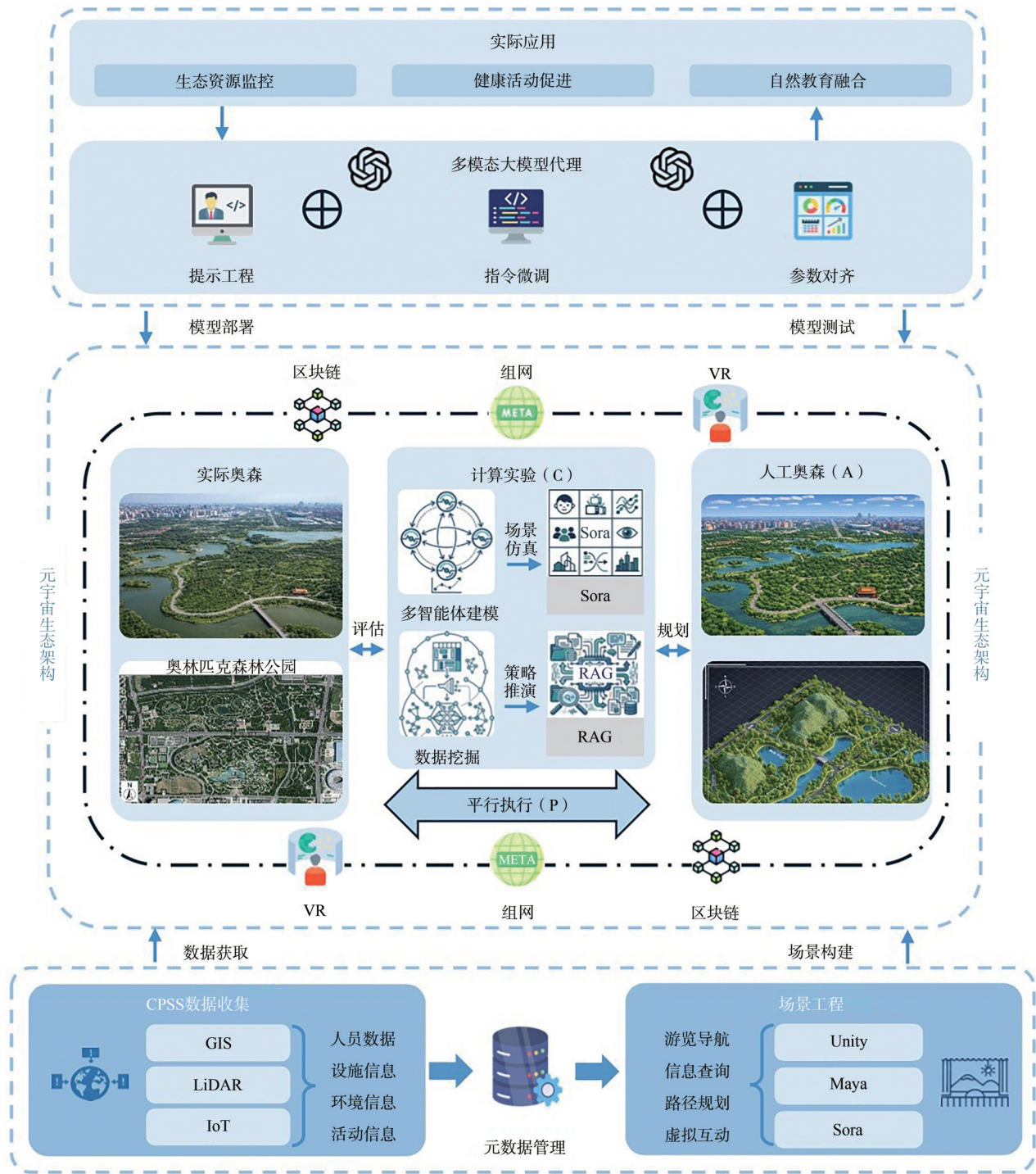


图2 平行奥森系统的元宇宙框架

与交互反馈等功能，进一步强化人工奥森的空间表达能力与公众参与属性。

为保障持续在线运行所需的数据安全与隐私保护，系统采用分级访问控制与匿名化机制，并结合联邦学习与区块链技术增强数据可信度与可追溯性<sup>[41]</sup>。这种安全架构确保虚拟空间在开放交互的

同时维持系统稳定性，为虚实共生运行提供可靠基础。

### 3.2 计算实验

在平行奥森元宇宙架构中，计算实验不再局限于后台数据推演，而是在持续在线的虚拟空间中开展动态策略验证与沉浸式推演。其核心作用在于将

人工奥森积累的数据资源转化为可体验、可评估、可优化的运行方案，使管理者与相关主体能够在虚拟场景中直观理解不同策略的潜在影响。计算实验层由场景模拟与策略评估两部分构成，并在元宇宙空间中实现可视化呈现与交互反馈。

在场景模拟阶段，系统通过基于代理的建模（agent-based model, ABM）与系统动力学（system dynamics, SD）方法，对不同管理策略与游客行为进行动态仿真<sup>[42-43]</sup>。ABM用于刻画个体层面的行为演化与互动机制，SD用于分析宏观层面的系统结构与反馈关系。在此基础上，计算实验层引入检索增强生成（retrieval-augmented generation, RAG）技术<sup>[44]</sup>，结合外部知识检索与生成模型，增强模拟场景的知识丰富度与情境真实性。同时，Sora大模型<sup>[45-46]</sup>为虚拟现实（virtual reality, VR）与增强现实（augmented reality, AR）环境提供内容生成与场景扩展能力，使策略演化过程能够以沉浸式形式呈现在元宇宙空间中。管理者与游客可以在人工奥森中预体验不同管理方案，如客流调度、活动布局或生态干预措施，从而将抽象的策略推演转化为可感知的空间体验。

在策略评估阶段，计算实验层结合数据挖掘与模式识别技术，对仿真结果进行系统分析，识别行为模式、演化趋势及潜在风险。通过对不同策略在虚拟环境中的运行表现进行对比评估，系统不仅分析其理论优势，还考察其在沉浸式模拟场景中的实际效果。为实现持续优化，计算实验层引入强化学习算法，对策略参数进行自适应调整，使系统能够根据环境变化与行为反馈动态更新决策方案。

### 3.3 平行执行

在平行奥森元宇宙架构中，平行执行层负责将计算实验生成的策略部署到现实系统，并维持虚拟空间与物理空间的持续同步。该层并非简单的策略下发机制，而是支撑虚实共生运行的在线调控结构。人工奥森中的运行状态会实时映射至元宇宙空间，现实系统的反馈数据则持续回流至人工系统，形成动态闭环。

MLLM是平行执行层的核心驱动单元。模型对文本、图像与传感器数据进行统一处理，在微调训练后具备对园区运行场景的语境理解能力。通过跨模态对齐与多模态融合机制，模型能够识别空间事件变化，并生成对应的调控指令。在策略优化过程中，系统引入近端策略优化（proximal policy op-

timization, PPO）算法，提升决策更新的稳定性与适应能力，使输出结果更贴合实时运行需求<sup>[47]</sup>。

经过训练的MLLM调用RAG与多智能体协作模块，引导虚拟系统与现实系统协同运行。RAG机制从知识库中检索相关信息，辅助生成具体执行方案。多智能体系统对任务进行拆分，各智能体在元宇宙空间中接收指令并反馈执行状态。在计算实验阶段，MLLM根据实验结果调整参数，优化运行路径，并输出修正建议<sup>[48]</sup>。在现实系统中，模型生成操作指令并通过智能体执行，执行结果同步回传至人工奥森。

在元宇宙空间内，策略的实施过程以可视化形式呈现。管理者可以实时观察调度效果，游客行为变化也会即时映射到虚拟场景中。系统持续收集满意度与行为轨迹数据，对人工模型进行动态修正<sup>[49]</sup>。这种在线学习机制使平行奥森能够快速响应环境变化，保持运行稳定性。同时，为保障虚实同步的可靠性，平行执行层建立基于云计算的数据同步机制。数据在人工奥森与现实奥森之间保持实时更新，确保策略调整具备时效性与准确性。通过这一持续运行结构，元宇宙成为平行智能在公共空间中的实际执行界面，而不仅仅是决策结果的展示平台。

## 4 平行奥森的应用场景

### 4.1 生态资源保护

以朝阳区的实践案例为代表，平行奥森系统中的生态资源监控应用场景展示了该系统在实际环境保护工作中的应用。朝阳区依托其创新驱动的发展战略，充分发挥产学研结合的优势，不断探索生态保护的创新路径。2024年6月5日，中国科学院生态环境研究中心、朝阳区生态环境局与北京世奥森林公园开发经营有限公司共同签署了《“人与自然和谐共生”智慧生态监测平台》合作框架协议，正式启动了智慧生态监测平台项目。项目选定奥森作为试点，计划建立一个集多层次、全要素、高精度、近实时监控于一体的生态观测塔，作为“美丽朝阳”生态观测网络的关键组成部分。该观测塔将集成先进的监测设备，实现对土壤微生物、植物、昆虫、鸟类及环境因子的同步观测，并通过智慧生态监测平台对数据进行可视化展示，使管理者能够动态掌握公园的生物多样性状况，并及时响应环境变化。

置于平行奥森框架下，该智慧生态监测平台构成了ACP方法落地的物理感知基座，而平行奥森

则为其注入了从“被动监测”向“主动智慧管护”跃迁的智能内核。描述智能以观测塔捕获的多维异构数据为输入，构建与现实生态环境实时同步的动态人工系统，解决传统监测数据碎片化的问题；预测智能依托这一高精度模型，在虚拟空间中引入气候变化、人为扰动等变量，推演生态系统在长时序下的演替轨迹与潜在风险，并深入分析，识别生态变化趋势和潜在风险，为环境管理和保护提供长期规划；引导智能则基于推演结果，生成兼顾生态韧性与管理成本的最优调控策略，并将其转化为可执行的科学建议反馈给管理层。这种“物理平台支撑感知，平行系统驱动决策”的深度融合模式，不仅极大地拓展了现有监测设施的应用边界，也为区域生态环境的智能化治理提供了一套可复制、可推广的先进范式。

#### 4.2 健康活动引导

健康活动引导是平行奥森中推动游客健康生活方式的关键应用场景。通过科技的赋能，奥森不仅提升了游客的运动体验，还促进了全民健身的普及和发展。在奥森内，科技与健康活动的结合得到了生动实践。2022年8月，奥森科技智慧跑道正式投入使用，这一项目由北京世奥森林公园开发有限公司与线上健身平台联合打造，标志着科技在全民健身领域的积极作用。奥森科技智慧跑道的建设不仅优化了跑者的整体运动体验，还以智慧信息屏为核心入口，联动跑步场景、运动工具、跑步商品与内容服务等要素，推动线上功能与线下空间的协同升级，形成更智慧、更具陪伴感且更具趣味性的运动服务闭环。智慧大屏对跑道运行状态进行实时可视化呈现，通过运动热力图展示跑步线路分布、跑者驿站位置、同时在线的跑者数量与成绩排行榜等关键信息，从而强化运动过程的社交互动属性与激励机制。

以该项目为典型范例，平行奥森在健康活动促进场景方面能够无缝接入现有的智慧设施网络，将其从单一的硬件功能升级为系统化的智能服务闭环。描述智能依托智慧跑道收集的步频、配速等运动数据，与周边环境信息进行深度融合，在数字空间中实时刻画出“人-路-环境”耦合的动态画像；预测智能基于数字画像在虚拟环境中推演不同运动强度下的生理负荷与训练效果，从而量化评估出最适合当前跑者的个性化运动方案；引导智能最终实现服务的闭环落地，它将计算出的最优方案转化为

实时的伴随式服务——在恶劣天气预警时自动推荐替代课程、在客流高峰时动态规划静谧路线，实现从单一的硬件设施向全周期智能服务的升级。

#### 4.3 自然教育融合

自然教育融合是平行奥森中提升游客生态意识、实现人与自然和谐共生的关键应用场景。近年来，随着城市生态文明建设的不断深入，奥森的自然教育在受众广度与交互复杂性上呈现出显著的演变趋势。作为超大城市中心的“天然生态舱”，奥森蕴含着极为丰富的动植物物种，生态基底深厚。在此背景下，参与自然教育的人群结构已逐渐突破传统的亲子家庭局限，迅速向全年龄段的自然爱好者及泛公众群体拓展。同时，活动的组织规模与形式，已由以往小型的单向导赏演进为涵盖数百人的深度生态研学，乃至千人规模的大型沉浸式环保体验。

这种受众结构的泛化与活动规模的跃升，极大促进了生态价值的社会化转化。然而，在面对庞大且认知诉求各异的游客群体时，奥森传统高度依赖物理标识与人工导读的线性教育模式，在空间承载力、服务响应的即时性与个性化匹配上暴露出明显的局限性。为了进一步提升自然教育服务质量，平行奥森提供智能化解决方案，通过“知识自动化与情境化教学”机制，将传统的自然教育升级为虚实共生的泛在学习体系。描述智能依托物联网与移动终端实时感知游客的时空位置与交互行为（如自然观察记录、游戏参与频次），同时支持将现实中的植被、水体及生物群落映射为结构化的生态知识图谱，构建出精细的“学习者画像”与“环境知识库”。预测智能基于学习者画像与当前环境参数（如季节、天气、物候），在虚拟空间中推演不同教育内容（如探险游戏和学术讲解）在特定人群中的认知负荷与知识吸收率，从而量化评估出最具吸引力与教育效能的个性化教学方案。引导智能依据预测推演结果，将基于物候客流分布的“最佳自然观察路径”规划与触发于特定景观节点的“即时知识交付”深度融合，在实现游客与园区景观时空匹配的同时，自动推送景观解读，并基于游客的实时交互反馈构建教学优化闭环，动态校准内容难度与呈现形式，以保证内容的知识性、趣味性和可接受性。

此外，奥森的自然教育融合项目还可以通过智能导览牌、增强现实自然观察、互动式生态展览，以及线上线下结合的教育活动，实现科技与自然的无缝结合，提供智慧化、互动性、教育性的自然体

验。智能导览系统实时更新教育内容,展示不同的生态主题和活动信息,提升教育内容的科学性与趣味性,并通过虚实互动的闭环反馈,不断激发游客的主动探索欲,实现从“被动观光”到“主动求知”的内驱力唤醒。

## 5 总结与展望

随着云计算、大数据、人工智能等前沿技术的飞速发展,城市公园管理正迎来前所未有的转型机遇。作为城市生态与文化活动的核心区域,奥森正处于这一转型的前沿。平行奥森系统的提出与探索正是对这一趋势的积极响应,展现了数据驱动、智能化管理在提升城市公园生态价值和文化活力方面的广阔前景。平行奥森系统通过整合描述智能、预测智能和引导智能,在生态资源监控、健康活动促进和自然教育融合等多个领域展现出广阔的应用前景。该系统的应用不仅可以优化奥森的运营管理,还能够提升游客体验,实现对公园生态资源的实时监控和动态管理。

平行奥森的构想不仅为奥森的未来发展提供了新思路,也为其他城市公园的智能化管理提供了借鉴。随着技术的不断进步和公众需求的日益增长,平行奥森有望成为城市公园管理的新标杆,推动城市生态文明和健康生活的和谐发展。未来,平行奥森将继续深化技术应用,拓展智能管理的边界,为城市公园的可持续发展贡献新的力量。

### 参考文献:

- [1] Yan H, Wu F, Dong L. Influence of a large urban park on the local urban thermal environment[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 622/623: 882-891.
- [2] Chiesura A. The role of urban parks for the sustainable city[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 68(1): 129-138.
- [3] 胡洁, 吴宜夏, 吕璐珊. 北京奥林匹克森林公园景观规划设计综述[J]. *中国园林*, 2006, 22(6): 1-7.  
Hu J, Wu Y X, Lyu L S. General introduction of Beijing Olympic Forest Park landscape plan[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2006, 22(6): 1-7.
- [4] 张洋, 李长霖, 张凝露, 等. 数字技术赋能城市公园绿地的运营模式与技术要点[J]. *风景园林*, 2025, 32(6): 29-35.  
Zhang Y, Li C L, Zhang N L, et al. Operational modes and technical points for empowering urban park green spaces by digital technology[J]. *Landscape Architecture*, 2025, 32(6): 29-35.
- [5] Wang X, Yang J, Han J P, et al. Metaverses and DeMetaverses: from digital twins in CPS to parallel intelligence in CPSS[J]. *IEEE Intelligent Systems*, 2022, 37(4): 97-102.
- [6] 田永林, 陈苑文, 杨静, 等. 元宇宙与平行系统: 发展现状、对比及展望[J]. *智能科学与技术学报*, 2023, 5(1): 121-132.
- [7] Tian Y L, Chen Y W, Yang J, et al. Metaverses and parallel systems: the state of the art, comparisons and prospects[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2023, 5(1): 121-132.
- [8] 缪青海, 王兴霞, 杨静, 等. 从基础智能到通用智能: 基于大模型的 GenAI 和 AGI 之现状与展望[J]. *自动化学报*, 2024, 50(4): 674-687.  
Miao Q H, Wang X X, Yang J, et al. From foundation intelligence to general intelligence: the state-of-art and perspectives of GenAI and AGI based on foundation models[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2024, 50(4): 674-687.
- [9] Wang F Y. The emergence of intelligent enterprises: from CPS to CPSS[J]. *IEEE Intelligent Systems*, 2010, 25(4): 85-88.
- [10] Zhang J J, Wang F Y, Wang X, et al. Cyber-physical-social systems: the state of the art and perspectives[J]. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2018, 5(3): 829-840.
- [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] 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.
- [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] 董丽, 胡洁, 吴宜夏. 北京奥林匹克森林公园植物规划设计的生态思想[J]. *中国园林*, 2006, 22(8): 34-38.  
Dong L, Hu J, Wu Y X. Ecological concepts of plants planning in Beijing Olympic forest park[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2006, 22(8): 34-38.
- [15] Pu L K, Zhao Q, Guan T. Investigation and analysis of Beijing Olympic forest park tourism interpretation system[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Economics and Management, Education, Humanities and Social Sciences. Atlantis Press, 2018: 338-341.
- [16] Zhang L, Xu H Y, Pan J B. Investigating the relationship between landscape design types and human thermal comfort: case study of Beijing Olympic forest park[J]. *Sustainability*, 2023, 15(4): 2969.
- [17] Wu H, Yang Y Z, Hu J. Nurturing nature in a mega-city: a decadal assessment of the Beijing Olympic Forest Park[J]. *Socio-Ecological Practice Research*, 2021, 3(2): 91-108.
- [18] Cai M M, Cui C Y, Lin L, et al. Residents' spatial preference for urban forest park route during physical activities[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(22): 11756.
- [19] 杨静, 王晓, 王雨桐, 等. 平行智能与 CPSS: 三十年发展的回顾与展望[J]. *自动化学报*, 2023, 49(3): 614-634.  
Yang J, Wang X, Wang Y T, et al. Parallel intelligence and CPSS in 30 years: an ACP approach[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2023, 49(3): 614-634.
- [20] 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): 2655-2669.
- [21] Wang F Y, Tang S N. Artificial societies for integrated and sustainable

- development of metropolitan systems[J]. *IEEE Intelligent Systems*, 2004, 19(4): 82-87.
- [21] Wang F Y. Parallel control and management for intelligent transportation systems: concepts, architectures, and applications[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2010, 11(3): 630-638.
- [22] 薛霄, 于湘凝, 周德雨, 等. 计算实验方法的溯源、现状与展望[J]. *自动化学报*, 2023, 49(2): 246-271.
- Xue X, Yu X N, Zhou D Y, et al. Computational experiments: past, present and perspective[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2023, 49(2): 246-271.
- [23] 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.
- [24] Lin F, Gao T, Sun D L, et al. Parallel medical devices and instruments: integrating edge and cloud intelligence for smart treatment and health systems[J]. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2025, 12(4): 651-654.
- [25] 林飞, 王飞跃, 田永林, 等. 平行药物系统: 基于大语言模型和三类人的框架与方法[J]. *智能科学与技术学报*, 2024, 6(1): 88-99.
- Lin F, Wang F Y, Tian Y L, et al. Parallel drug systems: framework and methods based on large language models and three types of humans[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2024, 6(1): 88-99.
- [26] 倪清桦, 郭超, 王飞跃. 平行戏剧: 新时代戏剧的人机协同创作与智能管理[J]. *智能科学与技术学报*, 2023, 5(4): 436-445.
- Ni Q H, Guo C, Wang F Y. Parallel theaters: human-machine collaborative creation and intelligent management for theatrical art[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2023, 5(4): 436-445.
- [27] 倪清桦, 鲁越, 林飞, 等. 平行音乐: 大模型时代的人机混合音乐创演[J]. *智能科学与技术学报*, 2024, 6(2): 150-163.
- Ni Q H, Lu Y, Lin F, et al. Parallel music: human-machine hybrid music creation and performance in the era of large models[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2024, 6(2): 150-163.
- [28] 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.
- [29] Yang J, Wang X X, Zhao Y D. Parallel manufacturing for industrial metaverses: a new paradigm in smart manufacturing[J]. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2022, 9(12): 2063-2070.
- [30] Yang J, Li S M, Wang X X, et al. DeFACT in ManuVerse for parallel manufacturing: foundation models and parallel workers in smart factories[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2023, 53(4): 2188-2199.
- [31] Zhang X F, Zhang X, Hu S, et al. Runoff and sediment modeling in a peri-urban artificial landscape: Case study of Olympic Forest Park in Beijing[J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 485: 126-138.
- [32] Stephenson N. *Snow crash*[M]. New York: Bantam Books, 1992.
- [33] Elsokkary N, Khan W, Shurrah M, et al. Reinforcement learning and the Metaverse: a symbiotic collaboration[J]. *Artificial Intelligence Review*, 2026, 59: 34.
- [34] Ismail L, Buyya R. Metaverse: a vision, architectural elements, and future directions for scalable and realtime virtual worlds[PP]. V2. (2023-08-24)[2025-12-22]. arXiv: arXiv.2308.10559.
- [35] Lee L H, Zhou P, Braud T, et al. What is the metaverse an immersive cyberspace and open challenges[PP]. V1. (2022-06-07)[2025-12-22]. arXiv: arXiv.2206.03018.
- [36] Wei H Q, Fu F, Zhu Q L, et al. The Olympic Forest Park wetland water quality monitoring and analysis[C]//*Proceedings of the 2016 5th International Conference on Energy and Environmental Protection*. Atlantis Press, 2016: 10.2991/ICEEP-16.2016.132.
- [37] Martínez-Graña A, Valdés Rodríguez V. Remote sensing and GIS applied to the landscape for the environmental restoration of urbanizations by means of 3D virtual reconstruction and visualization (Salamanca, Spain)[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2016, 5(1): 2.
- [38] Li X, Ye P J, Li J J, et al. From features engineering to scenarios engineering for trustworthy AI: I&I, C&C, and V&V[J]. *IEEE Intelligent Systems*, 2022, 37(4): 18-26.
- [39] Ecole L, Kim W T, Yoon J S. Unity: a powerful tool for 3D computer Animation Production[J]. *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, 2023, 29(3): 45-57.
- [40] Murdock K. *Autodesk maya 2025 basics guide*[M]. Mission: SDC Publications, 2024.
- [41] Wang F Y, Qin R, Li J J, et al. Federated management: toward federated services and federated security in federated ecology[J]. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2021, 8(6): 1283-1290.
- [42] Cheliotis K. An agent-based model of public space use[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2020, 81: 101476.
- [43] Martin R, Schlüter M. Combining system dynamics and agent-based modeling to analyze social-ecological interactions: an example from modeling restoration of a shallow lake[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2015, 3: 66.
- [44] 田永林, 王兴霞, 王雨桐, 等. RAG-PHI: 检索增强生成驱动的平行人与平行智能[J]. *智能科学与技术学报*, 2024, 6(1): 41-51.
- Tian Y L, Wang X X, Wang Y T, et al. RAG-PHI: RAG-driven parallel human and parallel intelligence[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2024, 6(1): 41-51.
- [45] Wang F Y, Miao Q H, Li L X, et al. When does sora show: the beginning of TAO to imaginative intelligence and scenarios engineering[J]. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2024, 11(4): 809-815.
- [46] Qin R, Wang F Y, Zheng X L, et al. Sora for computational social systems: from counterfactual experiments to artificiofactual experiments with parallel intelligence[J]. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2024, 11(2): 1531-1550.
- [47] Wang Y, He H, Tan X. Truly proximal policy optimization[C]//*Uncertainty in Artificial Intelligence*. PMLR, 2020: 113-122.
- [48] Wang F Y, Lyu C. Foundation vehicles: from foundation intelligence to foundation transportation for future mobility[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2023, 8(10): 4287-4291.
- [49] Shen T Y, Sun J L, Kong S H, et al. The journey/DAO/TAO of embodied intelligence: from large models to foundation intelligence and parallel intelligence[J]. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2024, 11(6): 1313-1316.

### [作者简介]

倪清桦 (1999-), 女, 澳门科技大学创新工程学院博士生, 主要研究方向为平行智能、决策科学、数字孪生等。





林飞 (1994- ), 男, 澳门科技大学博士生, 主要研究方向为平行系统、大语言模型、多模态感知、生成式人工智能。



葛琳 (1982- ), 男, 高级工程师, 澳门科技大学创新工程学院博士生, 主要研究方向为人工智能、复杂系统、平行医学、智能设备。



赵宸 (1996- ), 男, 中国科学院大学人工智能学院博士生, 主要研究方向为平行智能、智能交通系统、多模态大模型等。



鲁越 (1994- ), 男, 沈阳工业大学信息科学与工程学院专任教师, 主要研究方向为机器学习、小样本学习、机器人系统。



黄峻 (1998- ), 男, 澳门科技大学博士生, 主要研究方向为平行智能、自动驾驶轨迹预测规划、提示工程。



马思吉 (1999- ), 男, 澳门科技大学创新工程学院博士生, 主要研究方向为智慧期刊、区块链、多模态智能体。



刘宇航 (1999- ), 男, 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博士生, 主要研究方向为平行传感、三维场景理解、多模态智能体。



王飞跃 (1961- ), 男, 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主任, 澳门科技大学特聘教授, 主要研究方向为平行系统的方法与应用、社会计算、平行智能、知识自动化。