

平行旅游：基础智能驱动的智慧出游服务

张腾超¹, 田永林^{2,3}, 林飞¹, 倪清桦¹, 宋平¹, 戴星原^{3,4}, 李娟娟^{3,4},
伍乃骐¹, Timothy J. Lee⁵, 王飞跃^{1,2,6}

- (1. 澳门科技大学创新工程学院, 澳门 999078;
2. 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;
3. 达州人工智能研究院, 四川 达州 635755;
4. 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;
5. 澳门科技大学酒店与旅游管理学院, 澳门 999078;
6. 中国科学院大学人工智能学院, 北京 100049)

摘要: 旅游作为一种满足人们对不同生活体验和知识需求的活动, 对经济、文化等领域都产生了深远影响。随着物联网、多模态大语言模型等技术的迅速发展, 传统的旅游业难以满足人们智能化以及个性化的旅游需求。为此, 以平行智能为理念, 基于ACP方法与多模态大语言模型提出了虚实交互的个性化旅游服务系统, 通过构建旅游大模型, 并结合检索增强生成方法和多智能体协作系统, 打造个性化旅游服务的新范式。此外, 探讨了平行旅游的应用生态, 从“行”“住”“食”“衣”4个方面对整个旅游生态进行拓展, 分析了其他行业与个性化旅游服务的融合。平行旅游将为旅游行服务业的发展带来全新可能。

关键词: 平行旅游; 平行系统; ACP方法; 多模态大语言模型; 检索增强生成; 元宇宙

中图分类号: TP39

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.202420

Parallel tourism: foundation intelligence driven smart trip services

ZHANG Tengchao¹, TIAN Yonglin^{2,3}, LIN Fei¹, NI Qinghua¹, SONG Ping¹, DAI Xingyuan^{3,4},
LI Juanjuan^{3,4}, WU Naiqi¹, Timothy J. Lee⁵, WANG Fei-Yue^{1,2,6}

1. Faculty of Innovation Engineering, Macau University of Science and Technology, Macao 999078, China
2. State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
3. Dazhou Artificial Intelligence Institute, Sichuan 635755, China
4. State Key Laboratory of Multimodal Artificial Intelligence Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
5. School of Hospitality and Tourism Management, Macau University of Science and Technology, Macao 999078, China
6. School of Artificial Intelligence, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Tourism, as an activity that satisfies people's desire for diverse life experiences and knowledge, has had profound impacts on the economy, culture, and other fields. However, with the rapid development of technologies, such as the Internet of Things and multimodal large language models, traditional tourism is unable to meet the demand for intelligent and personalized travel experiences. To address this, this paper proposes an interactive personalized tourism service system based on the concept of parallel intelligence, utilizing the ACP approach and multimodal large language models. The system constructs a comprehensive tourism model and leverages retrieval-augmented generation and multi-agent collaboration systems to create a new paradigm for personalized tourism services. Additionally, this

收稿日期: 2024-04-16; 修回日期: 2024-05-20

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项目 (No.0145/2023/RIA3, No.0093/2023/RIA2)

Foundation Items: The Science and Technology Development Fund of Macao Special Administrative Region (No.0145/2023/RIA3, No.0093/2023/RIA2)

paper explores the application ecosystem of parallel tourism, expanding the tourism ecosystem from four aspects: clothing, food, accommodation and transportation. This paper analyzes the integration of other industries with personalized tourism services. Parallel tourism is poised to bring new possibilities for the development of the tourism service industry.

Key words: parallel tourism, parallel systems, ACP approach, multimodal large language models, retrieval-augmented generation, metaverse

0 引言

旅游这一概念最早可以追溯到古希腊和古埃及时期^[1]，人们为了贸易、宗教活动、教育等目的进行长途旅行。随着工业革命的到来，交通工具的发展使得旅游变得更加便捷和普及。托马斯·库克在1841年组织了世界第一次商业性旅游活动，标志着现代旅游业的开始^[2]。时至今日，随着全球化的推进以及人们日益增长的生活追求，旅游业迅速扩展。除了观光，现代旅游还包括文化体验、探险旅游、生态旅游、商务旅游等多种形式。互联网和智能技术的应用进一步推动了旅游业的发展，为旅游业提供了更多的便利和更全面的服务^[3]。

旅游服务的制定受到多方面的影响，包括多样化的旅游需求和偏好、复杂的供应链管理、新兴智能技术和数据的集成以及法律法规的限制^[4]。近年来，由于人们越来越重视环境保护和旅游体验，旅游服务也需要在环境和用户体验上进行精细化的运营与创新^[5]。面对日益增长的游客个性化需求以及数据集成和平台间的信息壁垒带来的挑战，传统的旅游服务模式已经力不从心。

平行系统作为一种实现复杂系统管理与控制的理论体系与方法^[6-7]，为旅游服务提供了解决问题的新途径。该理论由中国科学院自动化研究所王飞跃研究员于2004年提出^[8]，其核心是ACP方法^[9]，即人工系统（artificial systems, A）、计算实验（computational experiments, C）和平行执行（parallel execution, P）。ACP方法旨在通过虚拟空间进行计算实验来量化复杂系统中的一些重要信息，进而为实际系统存在的问题提供解决方案。该方法已经在计算机视觉、联邦控制、智能交通系统、药物研发、戏剧等多个领域得到了广泛应用^[10-16]。多模态大语言模型（multimodal large language models, MLLMs）、检索增强生成（retrieval-augmented generation, RAG）、多智能体系统等新兴技术为该方法的实现提供了技术支持。

本文受王飞跃研究员在2014年关于智慧产业

的学术报告^[17]的启发，基于平行系统提出平行旅游的个性化服务系统架构，旨在将先进的智能技术融入旅游服务中，全面感知地图、交通、旅游导览等多元信息，实现在复杂场景和需求下旅游服务的全面提升。本文通过推荐系统的计算、模拟、预测生成符合个性化偏好的旅游服务方案，实现旅游服务系统全面智能化。

本文的内容安排如下：第1节介绍目前旅游出行的需求与挑战；第2节介绍平行旅游系统框架；第3节介绍平行旅游服务系统的关键技术；第4节介绍平行旅游应用生态；第5节总结全文并进行展望。

1 旅游出行需求与挑战

本节将从旅游出行服务出发，回顾旅游服务相关领域的发展历程，并针对旅游服务在需求端、技术端、隐私安全端面临的挑战，结合具体的模型方法详细地阐述当前存在的问题。

1.1 多样性需求

早期的旅游活动主要以宗教活动为主，同时也包括一些游览与休闲的活动，《山海经》《水经注》里面有中国古代人们对自然世界的认识，是早期旅游文化的重要体现^[18]。随着科技的发展以及旅游产业的完善，旅游出行的需求已经细分到了各个方面，例如旅游动机、行为、消费^[19]等，这些需求的差异主要体现在文化背景、年龄、兴趣爱好等方面^[20]。例如在消费方面，除了商品种类和价格之外，还有研究发现有效的市场秩序会促进游客的购买行为。在此基础上，游客购买行为的个体信任转向社会信任的这一转移过程，对市场秩序的形成起到了中介作用^[21]，对游客消费行为的影响还反映在品牌效应上^[22]。不同旅游需求还受到地理因素以及文化因素的影响，例如：在自然景观上，特定地区不同的环境特征以及特殊地理边界，会影响游客的旅游需求^[23]；在人文景观上，一些建筑和场所本身带给游客的敬畏感或者其他文化特征会对游客的活动行为产生影响^[24]。除了市场干预以及场

景变化之外,游客本身的特征(如年龄、性别等)同样会对旅游需求产生影响。传统的时代群理论模型对这些差异做出了解释,但是最新的年龄-时代-群体理论发现,不同年龄段对于旅游的态度、决策和行为上的差异大多归因于时代的影响^[25]。

此外,影响旅游需求的因素还有很多,比如旅游形式、经济水平。无论旅游需求的差异有多大,旅游的目的几乎是确定不变的,就是给游客带来福祉和幸福^[26],而享受旅游的整个体验也能够给游客带来积极情绪,比如快乐和热情^[27]。如何在旅游服务中平衡这些多样化需求是一大挑战。理解和把握这种多样性,有助于旅游业者进行更精准的市场细分和服务优化,提升游客的满意度和忠诚度,从而推动旅游业的可持续发展。

1.2 技术服务需求

随着人工智能与通信科技的发展,旅游服务越来越智能化,从而满足快速变化的市场需求,旅游活动的数字化转型也进入关键期^[28]。其中,个性化推荐系统主要根据游客的个人偏好和行为进行旅游活动的整体规划,其依赖于精准的推荐算法以及大数据分析。目前,个性化推荐系统主要利用机器学习技术实现,例如其利用遗传算法或transformer架构来增强旅游需求预测能力,根据用户输入的目的地、旅伴、饮食偏好等信息策划个性化的行程^[29-30],包括住宿、景点、餐厅的精准推荐,能够帮助游客消除决策疲劳。但是由于当前旅游产业的各个环节涉及多个平台,各个平台的系统缺乏兼容性,例如实现不同系统间的实时数据更新、支付打包服务是一大挑战^[31]。现有系统大多专注于推荐目的地并提供打包交易,但在定制旅行行程方面的灵活性不够^[32]。

此外,随着虚拟现实(virtual reality, VR)和增强现实(augmented reality, AR)技术的发展,虚拟体验成为整个旅游产业的重要一环,让游客在出发前就能预览目的地的风景和文化^[33]。最新的虚拟旅游空间范式从多模态、心理、社会等方面实现AR,让游客能够沉浸式体验虚拟景点,但是单纯依靠AR实现虚拟体验应用还存在一定难度,需要结合其他先进智能技术来共同完成。

最后,智能化客服在当前旅游服务中的作用也越来越重要。智能客服系统,特别是基于自然语言处理和人工智能实现的聊天机器人,可以显著提升服务效率和客户满意度。一些地区部署服务机器

人,为用户提供一些简单的服务以提高用户体验,但部署机器人能否起到促进作用还无法确定,并且有研究者提醒管理者应谨慎在一线城市部署服务机器人,以避免其带来负面的游客体验^[34]。

1.3 隐私安全需求

在当前的旅游服务中,用户的隐私安全无法得到保证。随着全球隐私法规(如《通用数据保护条例》)的颁布,旅游服务的提供商必须保证其数据处理行为合法合规。例如个性化旅游服务需要对大量个人数据(如旅行偏好、历史记录和实时位置等)进行收集和分析,这可能引发数据隐私和安全问题,旅游服务提供商必须防止数据泄露和滥用,确保用户数据的安全。

用户数据的收集和存储也需要采取加密和访问控制措施。当前网络平台上的旅游服务涉及与众多第三方机构的合作,如酒店、航空公司以及支付系统等,这些第三方机构同样需要遵循严格的隐私安全保护规范。平台如何解决这些自动化系统中的潜在偏差便成了一大挑战,这需要建立透明的问责制度或权力分配方式^[35]。

此外,近几年通用人工智能(artificial general intelligence, AGI)的兴起给数据安全带来了一系列挑战,除了技术问题,训练数据对用户隐私以及个人信息的泄露还存在道德争议^[35]。综合来看,旅游服务在隐私安全方面的需求和挑战较为复杂,需要从技术、法律和用户等多个层面对旅游服务进行协调完善,从而保护用户隐私,提升用户的信任度和满意度。

2 平行旅游系统框架

本文提出的平行旅游系统将ACP方法应用于旅游服务,从旅游的个性化偏好需求角度整合技术、安全等方面的需求,从而促进旅游服务的进步。本节首先阐述ACP方法解决旅游服务相关问题的底层逻辑,然后提出实际系统和虚拟系统的具体交互方法,最后对整体系统框架进行详细阐述,说明系统的架构组成与交互方式。

2.1 平行智能理论概述

平行系统和ACP方法,将人工系统与实际系统相互连接并进行虚实交互,通过对人工系统的描述、计算来引导和调整实际系统,最终实现系统的优化^[36]。目前,该方法将人工系统与实际系统进行比较分析、模拟推演、迭代优化和同步执行,实

现对实际系统的指导以及效率与性能的提升^[37],已经在多个领域展现了其强大的应用潜力。

本文基于平行系统和ACP方法,针对旅游服务的服务流程、智能化和个性化需求,提出平行旅游系统框架。如图1所示,在平行旅游系统中,人工系统作为对实际旅游系统的模拟,需要对旅游场景进行搭建,并在旅游场景中进行旅游规划。自然景观的背景介绍、周围的基础设施、行程中的路径信息以及用户的偏好等信息,被用于旅游规划。该系统通过计算实验综合评估旅游方案,并通过学习、训练等方式对方案进行反复优化,最终提出最佳方案。同时,实际系统将结果打包并反馈给人工系统,从而实现虚实场景的动态调整。

该系统采用ACP方法集成了旅游服务相关的子系统、子服务,并重新计算用户的需求和对服务的满意度,形成“人在回路”的闭环网络^[38]。在技术端上,该系统建立了多种智能技术相结合的计算网络,该网络包含多源信息数据、组合优化方法以及信息检索等多种技术,在虚拟环境中实现了对旅游服务的全方位计算与模拟,为模型后续的需求理解与调整奠定基础。

2.2 平行旅游系统理论框架

平行旅游服务系统包括数据基础层、ACP系统层、MLLMs代理层以及应用层,整体系统命名为MeTour,如图2所示。该系统采用ACP方法对实际场景、虚拟场景以及计算实验进行数据整合,以提高旅游服务的质量和用户满意度。经过微调的多模态大模型MeTourGPT作为整个系统的代理,负责深入理解人类价值并进行决策输出。

首先在数据基础层,主要包括数据采集和处

理,通过对需求的匹配来收集实际系统中的数据,经过一系列的数据处理后将其传输到人工系统中,为人工系统的构建以及计算实验提供数据基础。

ACP系统层主要包括实际系统、人工系统和计算实验3个核心组件。实际系统基于物联网(Internet of things, IoT)、数字孪生(digital twin, DT)等技术捕捉和筛选关键数据^[39],并与人工进行实时交互,从而实现物理信息与社会信息的同步更新。人工系统和计算实验之间通过程序编程接口(application programming interface, API)和对应的脚本采用更新和执行的动作进行交互。在计算实验部分,利用联邦智能(federated intelligence, FI)^[40]、区块链技术(blockchain, BC)、多智能协作(multi-agent cooperative coordination, MACC)以及检索增强生成(retrieval-augmented generation, RAG)等技术组成的MeTourGO算法体系,为旅游服务提供强大的技术支持以及分析决策能力。

MeTourGPT作为代理对计算实验进行引导,通过平行执行将计算实验的结果反馈到实际系统中,通过平行交互提升服务质量,最终通过旅游服务操作系统MeTourOS以及去中心化元宇宙旅游组织DeMetourOS在应用层实现该结果。应用层包含旅游元宇宙系统、实地旅游的全链路智能服务系统和旅游影视MeTourSora等应用场景。接下来,针对ACP系统层以及MeTourGPT代理层中的各个环节进行详细的阐述。

2.3 人工系统(A)

人工系统在ACP方法中的主要功能是通过模拟和构建现实世界的系统和环境进行实验和分析,DT是实施ACP方法之人工系统的第一步,此外还

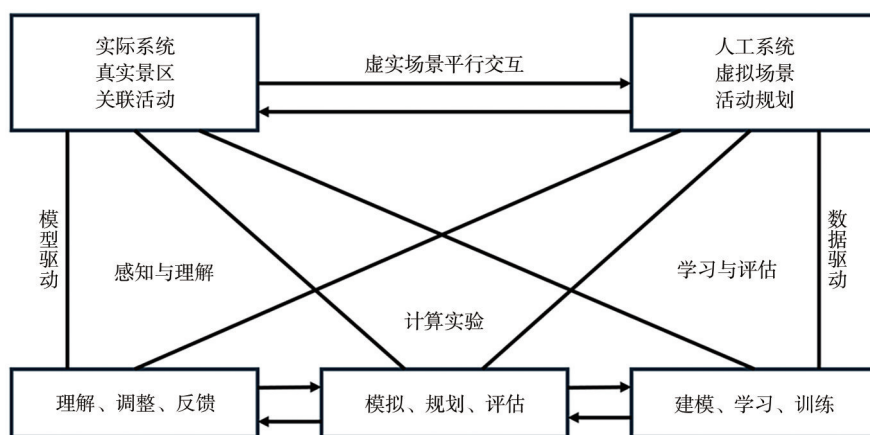


图1 基于平行系统和ACP方法的平行旅游系统框架

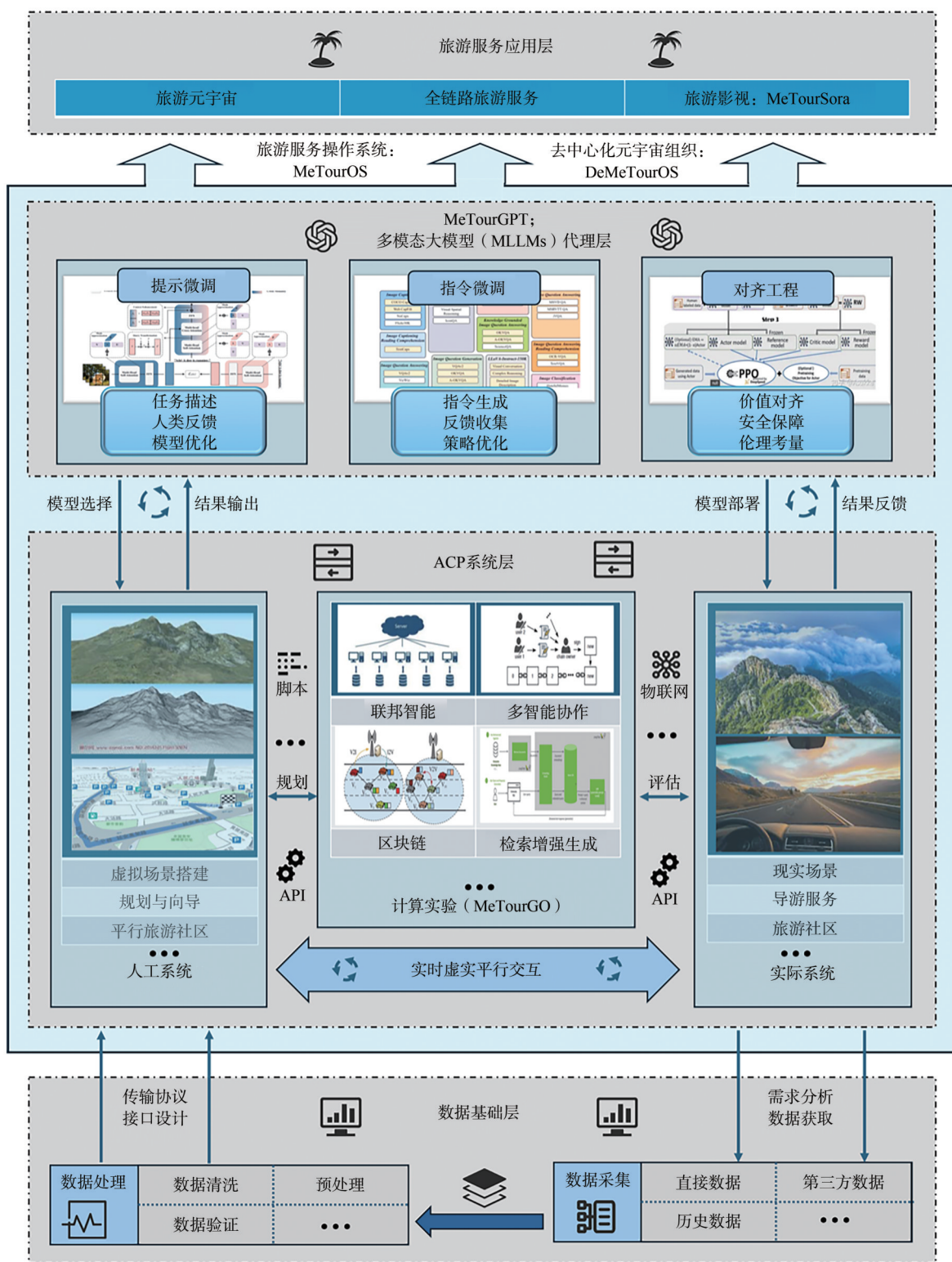


图2 MeTour平行旅游服务系统框架

包括软件定义与虚拟系统^[41]，在旅游服务系统中，人工系统的主要作用包括采用DT的虚拟场景搭建、对旅游内容的规划与向导，以及平行旅游社区，分别对应实际系统中的现实场景、导游服务以

及旅游社区。在虚拟场景的搭建中，采用地理信息系统处理和分析地理空间数据，从而构建精准的地形和地图模型^[42]。除了模型的搭建之外，人工系统还需要与虚拟场景进行实时交互，可以通过

Unity、Unreal Engine 等工具在虚拟场景中部署导航、信息查询、虚拟导览等服务来实现。为了与实际系统相连接，人工系统还需要采集实时的环境数据（如天气、游客数量等），并通过 IoT 技术构建传感器网络^[43]。

为了实现规划方案的制定，需要在虚拟场景中添加一些用户数据以及旅游地信息，包括游客对该场景对应的实际系统的反馈和用户自身的个性化偏好信息，可以包含社会性信息、心理性信息以及物理性信息，从而打造全方位立体的用户数据模型^[44]。旅游信息数据包含景点介绍（如历史文化等）以及周边的基础设施（如酒店、餐饮、购物、交通等），这些信息需要与用户需求进行匹配，以便制定个性化的旅游方案。人工系统还可以通过 VR、AR 技术为用户提供虚拟旅游的新体验。

平行旅游社区对应实际系统中的旅游社区，能够促进旅游相关信息的共享。传统的旅游社区通常由某个平台集中控制，包括对信息的共享与屏蔽。为避免中心化组织以盈利为目标进行数据端上的控制，在实际系统中构建基于去中心化自治组织（decentralized autonomous organization, DAO）的社区，通过区块链技术以及智能合约技术保证信息的开放与透明。去中心化社区的治理可以采用平行治理，在人工场景中对社区中的信息共享机制进行模拟和预测，以便制定更好的激励措施鼓励真实场景中的用户进行信息共享。人工系统对旅游规划的模拟以及对旅游社区的治理，能够尽可能保证旅游服务对用户的“聚焦”，为用户提供个性化和智能化的服务。

2.4 计算实验（C）

计算实验主要通过模拟和仿真技术对人工系统进行实验和分析，实现对复杂系统行为的深入理解。在平行旅游服务系统中，计算实验主要负责旅游服务方案的生成与执行，通过模拟实际系统的行为验证系统模型的准确性。这一过程还包括对模型的校准，通过调参使模型更接近实际系统的表现。计算实验的另一个重要功能是预测和评估，预测是指对不同条件下未来行为和趋势的推理和判断，评估是指通过实验测试不同策略的效果，帮助系统作出最优决策。

计算实验通过 MeTourGO 算法体系为数据安全、数据存储、任务执行、信息检索等提供全方位分析以及方案设计。联邦智能用于确保用户的隐私

安全^[45]，通过在用户的本地设备上训练模型，并仅共享模型参数而非原始数据，避免用户数据的集中存储与传输，从而有效保护用户隐私。在旅游服务规划时，联邦智能能够使系统在不侵犯用户隐私的情况下，持续优化和进行个性化服务推荐^[46]。区块链用于存储用户的旅行记录、交易信息和服务评价等数据，通过去中心化的方式记录和存储数据，确保数据的透明性和不可篡改性，从而提高系统的安全性和可信度。多智能体协作用于完成复杂任务规划。多智能体系统由多个自主智能体组成，每个智能体可以执行特定任务，并通过协作完成复杂的任务^[47]。在旅游服务系统中，多智能体协作用于管理和协调不同的服务模块，如行程安排、交通预定、住宿预定和景点推荐等，能够实现高效且个性化的服务规划。检索增强生成用于提供强大的检索数据库功能，其结合了信息检索与生成模型的优势，从大规模数据库中检索相关信息，并基于检索结果生成高质量的响应^[48]。在旅游服务系统中，用于快速检索和生成符合用户需求的旅游信息和服务建议，能够提升系统的响应速度和准确性。

计算实验综合应用了上述技术，能够精确确定具体的旅游服务规划，满足用户的个性化需求并保障其隐私安全。计算实验不仅能够提升系统的智能化水平，还能增强用户体验和系统的整体安全性。多模态大语言模型能够更好地引导计算实验进行数据的实时处理，并将计算实验的结果反馈给 MeTourGPT，通过 MeTourGPT 进行结果的部署。

2.5 平行执行（P）

在 ACP 方法中，平行执行用于执行计算实验的结果，并在人工系统与实际系统间进行数据交换与信息互动。在旅游服务系统中，在人工场景模拟的服务方案通过 MeTourGPT 部署到实际系统中，实际系统方案在执行该方案后会收集用户的反馈信息，实时调整人工系统的模型和参数，从而提升整个系统的模拟精度和预测能力。

人工系统通过数据驱动决策，实际系统通过计算模型驱动实际行为。人工系统与实际系统之间的交互机制使得两者的数据和信息能够被及时传递和更新，这需要通过云计算以及多元数据融合来实现。MeTourGPT 能够同时处理文本、图像、音频、视频以及传感器的数据，并融合多种不同类型的数据（如饮食需求、购买需求、性格、地域边界特征以及方式等），解决了旅游服务的不同需求之间的

数据兼容以及计算能力不足的问题^[49]。MeTourGPT 以及相关的技术工具,能够提升系统的智能化水平和运行效率,实现虚拟系统与实际系统的高效协同和优化。

2.6 MeTourGPT 代理层

平行旅游服务系统将 MeTourGPT 作为系统的代理,也就是微调后适合旅游服务的 MLLMs。针对旅游服务,MLLMs 需要具备两个关键的功能:一是需要具备多元复杂数据的处理能力,以适应旅游服务中复杂的需求;二是需要对旅游场景下的 LLMs 进行微调。针对这两个方面 LLMs 训练的要求,本文提出了旅游服务下的多模态基础模型微调架构,如图3所示。首先,针对不同单模态基础模型,充分优化和整合线性投影连接、Querying Transformer 和双向注意力机制等方法,设计高效的跨模态对齐机制^[50]。在简化不同模态之间特征映射的同时,增强跨模态资讯的检索和对齐能力,使得模型能够更好地捕捉模态间的相似性和差异性,进而提升多模态基础模型的通用理解能力。

其次,为了提高模型的可控性和可解释性,针对复杂旅游服务场景下的用户需求,构建跨模态指令跟随的微调数据集。本文在文本、图像和音频数据上进行多轮对话,从而对多模态基础模型进行指

令微调。本文还设计了基于多尺度参数降维的自适应微调优化框架来进一步降低成本,该框架采用阶梯侧调优(ladder side-tuning, LST)和低秩适应(low-rank adaptation, LoRA)等微调优化技术^[51-52],减少微调训练过程所需的参数量,并保持模型的复杂性和性能,平衡模型的适应性与计算效率。此外,本文采用近端策略优化(proximal policy optimization, PPO)等先进的强化学习算法,利用“人在回路”的回馈作为奖励信号,对模型进行进一步优化,使其生成更符合人类需求的输出。最后,本文通过少样本提示(few-shot prompting)^[53-54]和链式思维(chain of thoughts, CoT)方法,帮助模型理解 and 解决需要多步骤推理的复杂问题与任务,进而确保模型在处理多样化和复杂资讯时,能够提供精确、适应性强的解决方案^[55],满足不断变化的环境需求。

经过上述的微调操作后,最终得到 MeTourGPT 代理系统,其调用 RAG 和 MACC 等模块,引导计算实验和实际系统的运行。首先,MeTourGPT 接收并预处理多种类型的输入数据,包括文本、图像和传感器数据。接着,在 RAG 框架下,MeTourGPT 利用检索机制从知识库或外部数据库中获取相关信息,根据检索到的信息与原始输入数据生

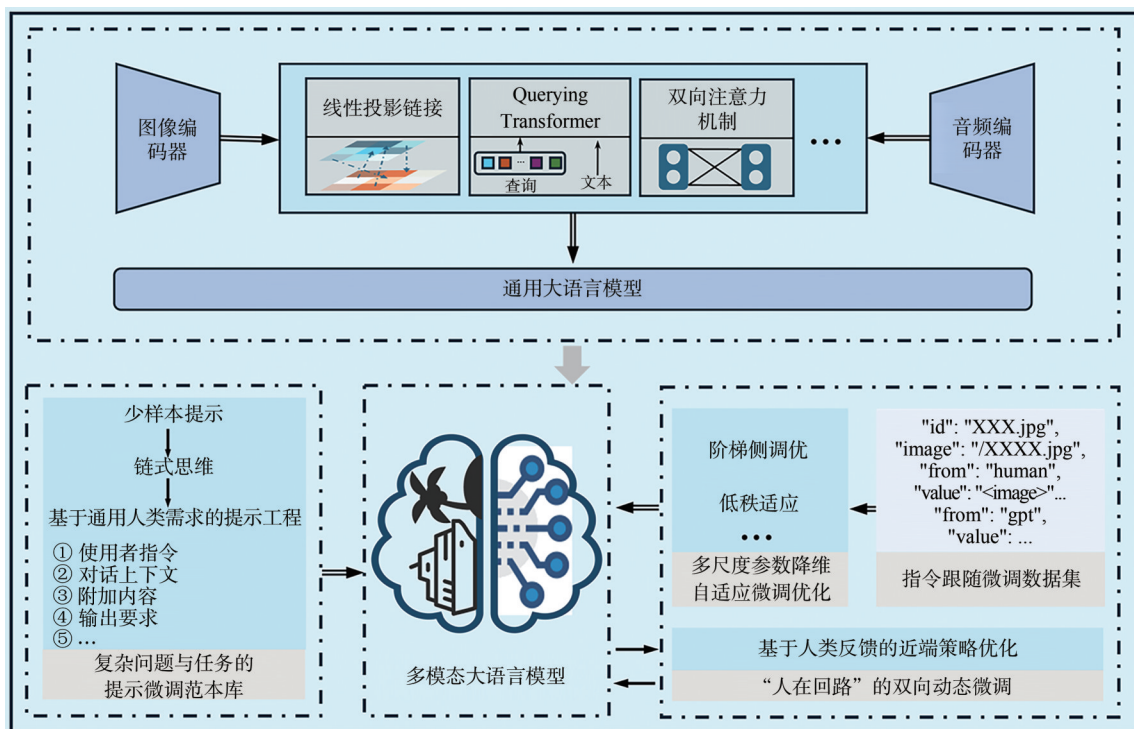


图3 多模态基础模型 MeTourGPT 微调架构

成实验设计、步骤和预期结果。多智能系统通过任务分解与分配,将复杂任务拆解成可管理的子任务并分配给不同的智能体,各智能体执行子任务并实时反馈执行状态。在计算实验阶段,MeTourGPT根据生成的内容设计实验参数和控制变量,启动并监控实验,动态调整实验进程,最终收集并分析实验结果,提出优化建议。在实际系统中,MeTourGPT生成具体操作指令,通过多智能系统执行,并根据运行反馈持续改进系统性能。通过上述过程,MeTourGPT在ACP系统中能够高效、智能地执行和优化各个任务,完成旅游服务规划和执行方案。

3 平行旅游系统的关键技术

平行旅游系统的关键技术包括:对于人类价值的对齐;针对动态信息的精准提取;针对旅游服务的自主任务规划;打造数字旅游的元宇宙。

3.1 人类价值对齐

对齐工程(alignment engineering)是使AI模型系统的结果与人类价值保持一致的工程。在旅游服务系统中,平行系统给出的决策方案需要与用户的价值进行目标对齐。该平行系统以MLLMs为代理执行相应任务,因此需要在MLLMs的训练过程中保证MLLMs与人类价值的对齐。第2节已经详细介绍了MLLMs微调训练以及多源数据处理能力,经过微调策略调整能够显著提高基础模型在特定旅游场景下的通用理解与适应能力,通过代理引导的方式进行价值对齐,此外还需要通过其他学习方法在决策层面进行价值对齐。

人类反馈强化学习(reinforcement learning from human feedback, RLHF)能够进行价值对齐,它是一种结合人类反馈,通过优化机器学习模型来对齐人类价值的微调方法^[56]。该过程首先收集人类评审员对模型生成的多个候选输出的反馈,通过评分或选择最佳输出的方式直观评估输出结果。基于这些反馈,构建一个利用监督学习技术的奖励模型,以预测每个候选输出的质量得分^[57]。接下来,利用奖励模型提供的奖励信号,通过PPO对生成模型进行微调,逐步优化模型参数,使其输出更符合人类偏好。微调后的模型经过严格评估和测试,确保其性能达到预期标准,并进行必要的优化调整。RLHF方法还衍生了多模态人类反馈、主动学习、集成学习和持续学习等相关技术,进一步提升

了模型性能和适应能力^[58]。通过结合人类反馈与强化学习,RLHF不仅提高了模型输出的质量和可靠性,还增强了模型对人类价值的理解与对齐,为广泛实际应用提供了坚实基础。

这些方法适用于旅游服务系统,对于面对对象为人类的服务系统而言,越精准地理解人类需求就会在服务上有更好的表现。训练数据还需要考虑用户的隐私安全问题,可通过FI的分布式训练以及DAO的不可篡改和公开透明特性,确保数据的隐私性和安全性,通过回馈调节优化模型,确保最终调整的结果与人类价值对齐。这种方式有望为智慧旅行服务提供准确、完善的服务方案。

3.2 精准动态资讯获取

旅游领域涉及的数据常常是即时且持续更新的,特别是地理资讯、旅游景点、交通、公共服务等。为了实现个性化和精准的资讯推荐,本文通过知识库构建、检索模组构建、生成模组构建等步骤实现基于RAG的资讯智能检索^[59]。首先,实时更新游官方网站、公共交通网站、政府政策公告、旅游评论网站和社交媒体平台的数据,利用官方API获取高质量和最新的政策数据,并将不同格式的数据(如HTML、JSON、XML)统一转换为结构化数据表格,并使用自然语言处理(natural language processing, NLP)技术进行分词、命名实体识别和关系抽取,将数据转化为知识图谱的节点和边,构建实体词典和关系范本,统一实体表示和关系类型^[60]。然后,基于图资料库构建知识图谱,定义景点、路线、公交、酒店、餐厅和政策等实体节点及其关系(如路线连接、政策影响),并设计数据导入工具,将预处理后的数据批量导入图数据库Neo4j,建立初始知识图谱并定期更新。其次,使用分布式搜索和分析引擎Elasticsearch构建倒排索引,实现高效的关键词检索,并利用双向编码器(bidirectional encoder representations from transformers, BERT)或句子级双向编码器(Sentence-BERT)模型生成语义向量,构建向量索引,支持语义相似度检索^[61]。检索模组采用混合检索算法,通过查询扩展和相关性回馈机制优化检索结果,集成向量检索和关键词检索,采用混合搜索策略进行场景切换,确保检索效果最佳。同时,检索模组还支持文本、图像、语音等多模态数据的检索,利用深度学习技术进行图像识别和语音识别,将多模态数据转化为结构化资讯。最后,生成模组使用预训练模型

生成高质量的自然语言回应,设计对话状态跟踪器和策略管理器,利用多轮对话数据进行训练,实现上下文理解和动态回应生成。生成模组通过自动评估方法(如双语评估代替(bilingual evaluation understudy, BLEU)、面向回忆的摘要评估替代(recall-oriented understudy for gisting evaluation, ROUGE))和人工评估方法,提高生成模型的输出品质,确保生成内容的准确性和流畅性。引入生成内容的纠错和多样性控制机制,提高生成回应的品质和用户满意度^[62-63]。本文基于以上技术构建了一个支持旅游与政策资讯的智能检索系统,能够提供全面、准确和便捷的查询与资讯生成服务,提升用户体验和资讯获取效率。

此外,基于RAG的推荐系统可以为用户提供个性化和动态的旅游信息推荐服务^[64]。其实施流程包括若干个阶段,首先是数据准备阶段,从多种数据源收集旅游相关信息,并对其进行预处理,以确保数据质量和一致性。这些数据被分类存储在信息库中,并定期更新以保持时效性。然后是模型构建阶段,基于预训练的MLLMs初始化RAG模型,收集用户反馈构建奖励模型,并使用强化学习算法对RAG模型进行微调,以优化推荐效果。其次是系统开发阶段,该阶段包括用户画像模块、推荐生成模块和用户界面模块的开发。用户画像模块通过分析用户数据构建用户画像,推荐生成模块通过检索信息库并结合用户画像生成个性化的推荐内容,用户界面模块负责展示推荐内容并收集用户反馈。接着是系统测试阶段,该阶段对整体功能和性能进行全面测试,确保系统的稳定性和可靠性。最终,系统上线运营,该阶段持续收集用户反馈以优化系统性能,从而提供精准、个性化和实时的旅游信息推荐,提升用户的旅游体验和满意度。

3.3 多样的自主任务规划

在智能旅游服务场景下,服务需求的规模大、种类多、密度高,生态的开放性叠加了任务的时变性与非线性,使得系统中的智能体在面临高维度与复杂性的任务时缺乏有效的规划。作为多智能体建模的基座^[65],大模型技术首先通过MLLMs处理和理解不同模态的输入数据,如文本、图像和视频等,以全面掌握任务需求。接着,利用大模型的强理解力和生成能力,将复杂任务分解为若干可管理的子任务,并识别每个子任务所需的特定技能和资源。然后,多智能体系统中的各个智能体根据其能

力和当前状态形成联盟,通过协作和资源共享提高任务执行效率。最后,在任务分配阶段,通过多模态大模型评估每个智能体的特长和负载情况,将子任务合理分配给最适合的智能体,并制定详细的任务执行计划。在整个过程中,MLLMs提供了精准的信息处理和决策支持能力,确保任务分解、联盟形成和任务分配的高效与精准,从而提升多智能体系统的整体协作能力和执行效果^[66]。

自主任务规划的执行需要充分考虑城市时间与空间维度上的特征,面向包含游客、居民、从业者在内的旅游系统参与者的多样需求,通过基于多角色智能体交互的灵活自主任务规划方法,满足智能旅游生态中动态、多元的复杂需求。首先,针对智能旅游生态中典型的问答、推荐、规划、翻译任务,定义智能体的动作空间与交互方式,借助分布式物理基础设施网络(decentralized physical infrastructure network, DePIN)广泛聚合数据、演算法、智能IoT设备等调用界面,形成具备互操作性的工具库^[67],从而融合多维度、多粒度的时空特征,定义记忆、动作、工具使用等空间异质化的多角色智能体个体。

其次,通过图神经网络技术、自然语言处理技术对社交网络与用户的意图、情绪等趋势与需求进行识别与聚类^[68],建立多智能体系统与真实网络系统之间的联系,基于时间尺度上的周期性规律与空间维度上的分布状态特性进行主动、分布式的任务识别。结合用户的时机状态进行敏捷的资源与分工调度,支撑应对动态与复杂需求的智能服务模式,通过马尔科夫随机场、博弈对抗、拜占庭容错等技术,使得智能体自主形成基于全局目标与资源约束条件的协作网络^[69-71]。

第三,利用场景工程技术扩展现有数据,开展多维度、多粒度的计算实验,以获得服务于问题与场景的收敛性策略与解决方案,指导实际Web 3.0系统的运行。通过多角色智能体的交互构筑包含前馈决策、反馈评估的自适应增强回路,支撑在无中心化、弱中心化条件下展开的自适应智能服务范式,从而加快服务的响应速度,降低成本,提高效率与准确性。

3.4 旅游元宇宙

元宇宙是一个融合VR、AR、BC、DT等前沿技术的虚拟世界。在元宇宙中,用户通过数字身份进行互动、社交等。构建旅游元宇宙的底层架构需

要依赖BC、DT等技术进行数据存储和信息交互，通过智能设备和传感器实时收取用户的数据以及环境数据^[72]，建立DT的虚拟模型，为游客提供旅游服务和互动体验。

元宇宙采用DAO和去中心化的治理模式，以虚拟货币或非同质化代币（non-fungible token, NFT）为元宇宙的资产。虚拟货币能够用于购买景区门票、纪念品以及各种服务，而NFT则确保了虚拟艺术品和收藏品的唯一性和所有权。用户能够通过提案帮助元宇宙社区改造设施、完善服务。

旅游元宇宙通过VR、AR等设备连接虚拟世界，为用户创造了全新的旅游体验。例如在虚拟世界中重建世界遗产、博物馆以及自然景观^[73-74]，也可以通过元宇宙了解景观的历史。用户对于这些虚拟景区及其设施若有任何建议，均可通过社区提交提案，这充分体现了去中心化治理的精神以及以用户体验为核心的旅游服务体系。

元宇宙可以接入MeTourGPT代理的智能体服务站点，并通过DeMeTourOS为用户提供个性化推荐、智能导览服务以及问答服务，并且还能够将从元宇宙中获取的反馈信息作用到实际场景中，使得现实世界与虚拟世界相互调节。

4 平行旅游应用生态

本节将从“行”“住”“食”“衣”4个方面展望与构想平行旅游的应用生态，平行旅游应用生态

如图4所示。

4.1 行

“行”作为最底层的基础，是非常关键的基础设施。首先，结合海陆空联合的智慧物流系统，将基于LLMs的智能体集成在无人船（unmanned surface vehicles）、无人机（unmanned aerial vehicles）和无人车（unmanned ground vehicles）系统中^[75]，从而形成低空经济下智慧物流的3D终端交付^[76-77]。这些无人设备通过智能体实现自适应感知，可以自我避障、导航、路径规划等^[78]。同时，基于LLMs的智能体还可以让物流交付变得个性化，通过自然语言就可以控制这些无人设备，满足用户的个性化需求。智慧物流作为整个应用生态的基础设施，能够覆盖应用中的各个场景，如送衣、送“医”、送餐、出行以及应急救援等。

在智慧出行上，集成MLLMs的智能管家助手能够进行出行规划，无论是文字信息、自然语言信息、图片信息，智能管家都能从中获取用户的需求，通过智能旅游服务提供具体的方案，通过IoT技术关联无人车实现接送服务，同时还能提供导览、实时规划等服务^[79]。

当出现受伤、休克等外伤或者心脏病、哮喘等慢性病突发情况时，智能管家也能够通过指令或自动检测装置第一时间呼叫无人车送医就诊，并在路况拥堵的情况下也能够通过多智能体间的协同感知开放绿色通道。

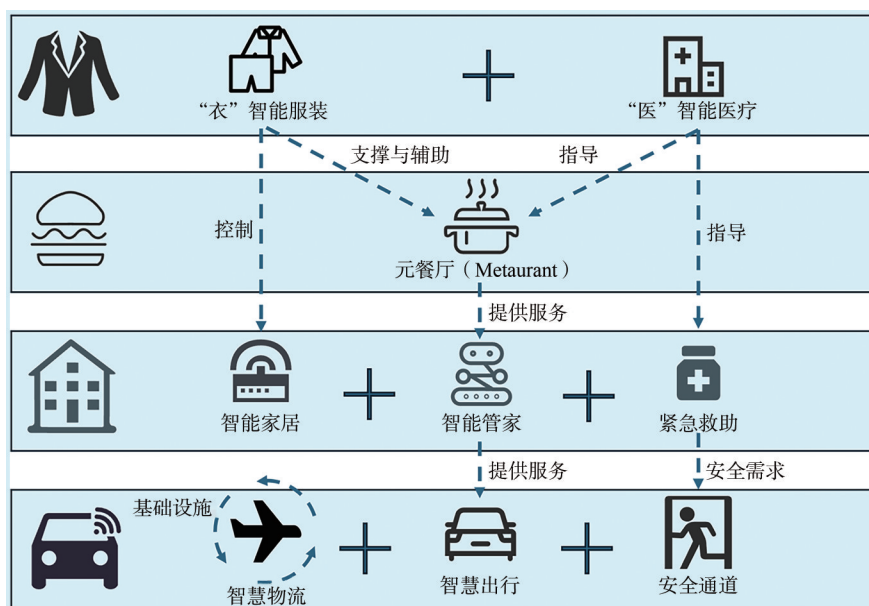


图4 平行旅游应用生态

4.2 住

智能化的“住”不仅要体现住房的自动化，还要体现智能化，智慧物流和自主转移的融合正在改变运输和资源管理^[80]。由于物流运输的变革，家庭港口（HomePorts）的概念诞生^[77]。家庭港口是指为每个家庭提供的货物运输，就像港口、机场货运总站等，只不过港口的设计不再是大型的集中运输方式，而是精细化配送到每家每户，这将极大地改变城市的面貌。

智能化不仅需要在实际场景中得到体现，还应在元宇宙的虚拟场景中展现其价值。数字人管家能够无缝连接虚拟场景和实际场景，确保用户在两种场景中的体验不被中断^[81]。智能化家居系统不仅能够满足日常生活中的个性化偏好需求^[82]，数字人智能管家还可以为用户提供饮食、健身等方面的系统性规划^[83]。

此外，平行多功能活动厅能够为具体活动提供硬件功能匹配，保证各种需求的实现。最重要的是，紧急救助系统能够通过智能家居监测用户的身体状态，并与无人车相连。当突发情况发生时，系统会自动唤醒无人车，打开安全通道进行紧急救助。这一系列智能化系统的协同工作，为用户提供了在实际和虚拟场景中的高质量体验和安全保障。

4.3 食

以元餐厅（Metaurant）为主的“食”，基于RAG驱动的平行人与平行智能（retrieval-augmented generation-driven parallel human and parallel intelligence framework, RAG-PHI）搭建的元宇宙餐饮平台主要包括3个部分：生物人厨师、数字人厨师和机器人厨师^[84]。其中，生物人厨师通过汇集不同地域和文化的典型菜肴为元餐厅系统提供知识库；数字人厨师利用菜谱数据库知识与大模型，响应用户需求并生成新菜谱；具身智能机器人厨师通过环境感知以及自动化操作^[85-86]，操纵各类器具完成烹饪任务，自动完成菜品制作。元宇宙餐饮平台不仅提高了餐饮制作的效率和一致性，还保证了食品安全和卫生。

元宇宙餐饮平台以DAO的形式搭建在智能区块链平台上，并集成网络数据库、可信的食材供应仓库、无人配送系统^[87]以及最为核心的美食工厂。其中，网络数据库包括菜谱数据、个人偏好数据以及厨艺影像数据，厨艺影像数据是指通过多模态影像技术捕捉生物人厨师的烹饪动作，从而得到的具

体烹饪方法数据，收集厨艺影像数据能够实现在任何场景下的厨艺复现。

美食工厂是涵盖了数字人厨师的餐饮大模型，集成了多模态数据融合的需求指令，可将用户需求通过大模型转化为个性化的菜谱，最终下达烹饪指令使机器人厨师做出符合个人偏好的餐食。餐食可以综合考虑个人口味、身体健康状况以及营养意见等。美食工厂表现出了高度的个性化与自动化。

4.4 衣

“衣”又同“医”，既包含传统意义上的服装，也包括对身体健康的医护诊断^[88]。平行旅游在“衣”上的应用将整合智能服装与智慧医疗，实现“衣医”一体化。配备中央控制器的智能服装能够对周围环境和设备进行实时控制，同时实现虚拟空间与实际空间的无缝交互，从而真正实现虚实交互。

集成了多模态大规模语言模型的智慧医疗系统^[89]，利用计算机视觉和自然语言处理等技术，并通过服装上的传感器多维度了解用户的身体状态。智慧服装系统基于传感器采集的数据生成详尽的健康档案，用于指导用户的个性化健康管理。例如，在“食”方面，智慧医疗系统可以根据用户的身体状况推荐个性化菜谱；在“住”方面，系统可以提供紧急救助服务^[90]；在“行”方面，系统可以部署安全通道，为用户出行提供全方位的健康保护。

这种智能化系统不仅能够提高用户的生活质量，还能为提供全链路服务奠定基础。这种“衣医”一体化，充分利用了先进技术，实现了对用户健康的全面监控与管理，具有重要的应用前景和研究价值。

5 总结与展望

本文探讨了基于平行智能理论和MLLMs的个性化旅游服务系统，旨在提高旅游服务水平，建立智慧旅游的新范式。该系统通过平行旅游架构，提高了旅游服务的个性化水平，优化了旅游推荐系统的推荐方法，加强了用户的隐私安全，并利用MLLMs的复杂信息处理能力，对环境、心理、社会等因素进行融合处理，大大提高了旅游服务系统的便捷性以及高效性。最后对旅游应用生态进行了展望，并将其扩展到一般场景进行详细阐述。

未来平行旅游系统会包含更多的场景和子系统,随着技术的不断突破和创新,旅游元宇宙会更加完善,未来的虚拟景点将不局限于视觉和听觉,还可能融入触觉、嗅觉等感官体验,让游客在家中也能身临其境地体验旅游的乐趣。平行旅游服务系统将智慧城市、智慧交通、智能家居等领域深度融合,实现跨领域的数据共享和服务协同。通过与其他智能系统的互联互通,游客的出行、住宿、购物等需求将得到更加全面和便捷的满足。平行旅游服务系统将不仅是技术的集成,更是服务理念的创新。

参考文献:

- [1] ZUELOW, E G E, KEVIN J J. The Oxford handbook of tourism history[M]. New York: Oxford University Press, 2024.
- [2] CLEVELAND T. A history of tourism in Africa: exoticization, exploitation, and enrichment[M]. Columbus: Ohio University Press, 2021.
- [3] TALWAR S, KAUR P, NUNKOO R, et al. Digitalization and sustainability: virtual reality tourism in a post pandemic world[J]. Journal of Sustainable Tourism, 2023, 31(11): 2564-2591.
- [4] MAJID G M, TUSSYADIAH I, KIM Y R, et al. Intelligent automation for sustainable tourism: a systematic review[J]. Journal of Sustainable Tourism, 2023, 31(11): 2421-2440.
- [5] ALOS-SIMO L, VERDU-JOVER A J, GOMEZ-GRAS J M. How use of knowledge sources influences eco-innovation in the tourism sector through product innovation and/or process innovation[J]. Journal of Sustainable Tourism, 2024, 32(5): 1053-1076.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 康孟珍, 孙贺全, 王秀娟, 等. 系统农业: 结合农业社会经济属性的建模和控制[J]. 智能科学与技术学报, 2023, 5(1): 41-50.
KANG M Z, SUN H Q, WANG X J, et al. Systems agriculture: modeling and control based on social and economic attributes of agriculture[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2023, 5(1): 41-50.
- [12] 康孟珍, 王秀娟, 华净, 等. 平行农业: 迈向智慧农业的智能技术[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(2): 107-117.
KANG M Z, WANG X J, HUA J, et al. Parallel agriculture: intelligent technology toward smart agriculture[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(2): 107-117.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] GUO C, BAI T X, LU Y, et al. Skywork-daVinci: a novel CPSS-based painting support system[C]//Proceedings of the 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). Piscataway: IEEE Press, 2020: 673-678.
- [16] GUO C, DOU Y, BAI T X, et al. ArtVerse: a paradigm for parallel human-machine collaborative painting creation in metaverses[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2023, 53(4): 2200-2208.
- [17] 王飞跃. 复杂性研究与智能产业: 平行企业与工业5.0[R]. 2014.
WANG F Y. Complexity research and intelligent industry: parallel enterprise and industry 5.0[R]. 2014.
- [18] 朱新屋. 《山海经》、民俗学与旅行史: 重返江绍原《中国古代旅行之研究》的历史世界[J]. 民族艺术, 2022(2): 75-84.
ZHU X W. The book of mountains and seas, folklore and the history of travel: returning to the historical world of Jiang Shaoyuan's studies in ancient Chinese travel[J]. National Arts, 2022(2): 75-84.
- [19] NAGLE D S, VIDON E S. Purchasing protection: outdoor companies and the authentication of technology use in nature-based tourism[J]. Journal of Sustainable Tourism, 2021, 29(8): 1253-1269.
- [20] BRENT RITCHIE J R. Interest based formulation of tourism policy for environmentally sensitive destinations[J]. Journal of Sustainable Tourism, 1999, 7(3/4): 206-239.
- [21] WANG Y T, LI H. Trust transfer effect: the impact of effective market order on tourists' purchase behavior[J]. Annals of Tourism Research, 2024, 105: 103725.
- [22] HE M, TU J H, LI Y Q, et al. Tourist preference for tourism product brand biographies[J]. Annals of Tourism Research, 2024, 107: 103773.
- [23] STOFFELEN A. A review of tourism and bordering processes: launching the annals of tourism research curated collection on tourism and territorial borders[J]. Annals of Tourism Research, 2024, 105: 103728.
- [24] LI F S, SU Q Q. Influence of awe on tourism activity preferences[J]. Annals of Tourism Research, 2024, 107: 103793.
- [25] MCKERCHER B. Age or generation? Understanding behaviour differences[J]. Annals of Tourism Research, 2023, 103: 103656.
- [26] DOLNICAR S, YANAMANDRAM V, CLIFF K. The contribution of vacations to quality of life[J]. Annals of Tourism Research, 2012, 39(1): 59-83.
- [27] MIYAKAWA E, PEARCE P L, OGUCHI T. Savoring tourism: exploring basic processes[J]. Annals of Tourism Research, 2022, 97: 103498.
- [28] HASSAN A. Digital Transformation and Innovation in Tourism Events[M]. London: Routledge, 2022.

- [29] PAULAVICIUS R, STRIPINIS L, SUTAVIČIŪTĖ S, et al. A new genetic algorithm for personalized tourist trip design[EB]. SSRN, 2023, SSRN: 4374001.
- [30] LI X, XU Y C, LAW R, et al. Enhancing tourism demand forecasting with a transformer-based framework[J]. *Annals of Tourism Research*, 2024, 107: 103791.
- [31] SHARMA R. Genetic algorithm based personalized travel recommendation system[C]//*Proceedings of the 2024 2nd International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (IDCIoT)*. Piscataway: IEEE Press, 2024: 867-874.
- [32] CHUNG N, KOO C. The use of social media in travel information search[J]. *Telematics and Informatics*, 2015, 32(2): 215-229.
- [33] LIU B Q, MOYLE B, KRALJ A, et al. Towards a typology of virtual tourists: efficacy of visual patterns and attentional cues[J]. *Tourism Management*, 2024, 105: 104943.
- [34] CHOI S, WAN L C, MATTILA A S. Unintended indulgence in robotic service encounters[J]. *Annals of Tourism Research*, 2024, 106: 103768.
- [35] TUOMI A, ASCENÇÃO M P. Deliberative governance for tourism platforms[J]. *Annals of Tourism Research*, 2023, 103: 103647.
- [36] 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.
- [37] 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(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(4): 436-445.
- [38] WANG F Y. Parallel management: the DAO to smart ecological technology for complexity management intelligence[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2022, 48(11): 2655-2669.
- [39] LYU Z H, QIAO L, LI Y X, et al. BlockNet: beyond reliable spatial Digital Twins to Parallel Metaverse[J]. *Patterns*, 2022, 3(5): 100468.
- [40] 王飞跃, 王艳芬, 陈意竹, 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.
- [41] 张俊, 许沛东, 王飞跃. 平行系统和数字孪生的一种数据驱动形式表示及计算框架[J]. *自动化学报*, 2020, 46(7): 1346-1356.
ZHANG J, XU P D, WANG F Y. Parallel systems and digital twins: a data-driven mathematical representation and computational framework[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2020, 46(7): 1346-1356.
- [42] QUATTROCHI D A, LAM N S N, QIU H L, et al. Image characterization and modeling system (ICAMS): a geographic information system for the characterization and modeling of multiscale remote sensing data[M]//*Scale in Remote Sensing and GIS*. New York: Routledge, 2023: 295-307.
- [43] 吕宜生, 王飞跃, 张宇, 等. 虚实互动的平行城市: 基本框架、方法与应用[J]. *智能科学与技术学报*, 2019, 1(3): 311-317.
LYU Y S, WANG F Y, ZHANG Y, et al. Parallel cities: framework, methodology, and application[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2019, 1(3): 311-317.
- [44] 张晓东, 许丹丹, 王良, 等. 基于复杂系统理论的平行城市模型架构与计算方法[J]. *指挥与控制学报*, 2021, 7(1): 28-37.
ZHANG X D, XU D D, WANG L, et al. Model architecture and urban computing for parallel cities based on complex adaptive systems[J]. *Journal of Command and Control*, 2021, 7(1): 28-37.
- [45] 李程, 袁勇, 郑志勇, 等. 基于区块链的联邦学习: 模型、方法与应用[J]. *自动化学报*, 2024, 50(6): 1059-1085.
LI C, YUAN Y, ZHENG Z Y, et al. Blockchain-enabled federated learning: models, methods and applications[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2024, 50(6): 1059-1085.
- [46] 王飞跃, 缪青海. 基础智能: 从联邦智能到基于TAO的智能系统联邦[J]. *科技导报*, 2023, 41(19): 103-112.
WANG F Y, MIAO Q H. Foundation intelligence: from federated intelligence to TAO-based intelligent systems federation[J]. *Science & Technology Review*, 2023, 41(19): 103-112.
- [47] HONG S R, ZHUGE M C, CHEN J, et al. MetaGPT: meta programming for a multi-agent collaborative framework[EB]. arXiv preprint, 2023, arXiv: 2308.00352.
- [48] ASAI A, WU Z Q, WANG Y Z, et al. Self-RAG: learning to retrieve, generate, and critique through self-reflection[EB]. arXiv preprint, 2023, arXiv: 2310.11511.
- [49] 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.
- [50] SEO M, KEMBHAVI A, FARHADI A, et al. Bidirectional attention flow for machine comprehension[EB]. arXiv preprint, 2016, arXiv: 1611.01603.
- [51] SUNG Y L, CHO J, BANSAL M. LST: ladder side-tuning for parameter and memory efficient transfer learning[EB]. arXiv preprint, 2022, arXiv: 2206.06522.
- [52] HU E J, SHEN Y L, WALLIS P, et al. LoRA: low-rank adaptation of large language models[EB]. arXiv preprint, 2021, arXiv: 2106.09685.
- [53] KOJIMA T, GU S S, REID M, et al. Large language models are zero-shot reasoners[EB]. arXiv preprint, 2022, arXiv: 2205.11916.
- [54] BROWN T B, MANN B, RYDER N, et al. Language models are few-shot learners[EB]. arXiv preprint, 2020, arXiv: 2005.14165.
- [55] LI J N, LI D X, SAVARESE S, et al. BLIP-2: bootstrapping language-image pre-training with frozen image encoders and large language models[C]//*Proceedings of the 2023 International conference on machine learning*. New York: ACM, 2023: 19730-19742.
- [56] BAI Y T, JONES A, NDOUSSE K, et al. Training a helpful and harmless assistant with reinforcement learning from human feedback[EB]. arXiv preprint, 2022, arXiv: 2204.05862.
- [57] CHAUDHARI S, AGGARWAL P, MURAHARI V, et al. RLHF deciphered: a critical analysis of reinforcement learning from human feedback for LLMs[EB]. arXiv preprint, 2024, arXiv: 2404.08555.
- [58] DAI J, PAN X H, SUN R Y, et al. Safe RLHF: safe reinforcement learning from human feedback[EB]. arXiv preprint, 2023, arXiv: 2310.12773.
- [59] ASAI A, WU Z Q, WANG Y Z, et al. Self-RAG: learning to retrieve, generate, and critique through self-reflection[EB]. arXiv preprint, 2023, arXiv: 2310.11511.
- [60] ZHANG T J, PATIL S G, JAIN N, et al. RAFT: adapting language model to domain specific RAG[EB]. arXiv preprint, 2024, arXiv: 2403.10131.
- [61] REIMERS N, GUREVYCH I. Sentence-BERT: sentence embeddings using Siamese BERT-Networks[EB]. arXiv preprint, 2019, arXiv: 1908.10084.

- [62] MOHAMMED L H, MUTER A A, ALI H D, et al. Evaluation of domain sulfur industry for DIA translator using bilingual evaluation understudy method[J]. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 2024, 13(1): 370-376.
- [63] 林于翔, 吴运兵, 阴爱英, 等. 基于语义相关性分析的多模态摘要模型[J]. *计算机应用*, 2024, 44(1): 65-72.
LIN Y X, WU Y B, YIN A Y, et al. Multi-modal summarization model based on semantic relevance analysis[J]. *Journal of Computer Applications*, 2024, 44(1): 65-72.
- [64] 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.
- [65] 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.
- [66] 秦龙, 武万森, 刘丹, 等. 基于大语言模型的复杂任务自主规划处理框架[J]. *自动化学报*, 2024, 50(4): 862-872.
QIN L, WU W S, LIU D, et al. Autonomous planning and processing framework for complex tasks based on large language models[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2024, 50(4): 862-872.
- [67] 李娟娟, 管桑田, 秦蕊, 等. 智能区块链与区块链智能: 构筑DePIN的基础设施智能[J]. *智能科学与技术学报*, 2024, 6(1): 5-16.
LI J J, GUAN S T, QIN R, et al. Intelligent blockchains and blockchain intelligence: the infrastructure intelligence for DePIN[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2024, 6(1): 5-16.
- [68] VELIČKOVIĆ P. Everything is connected: graph neural networks[J]. *Current Opinion in Structural Biology*, 2023, 79: 102538.
- [69] MARSMAN M, VAN D B D, HASLBECK J. Bayesian analysis of the ordinal Markov random field[EB]. *PsyArXiv*, 2023, PsyArXiv: PPR624964.
- [70] MOHEBBI MOGHADDAM M, BOROOMAND B, JALALI M, et al. Games of GANs: game-theoretical models for generative adversarial networks[J]. *Artificial Intelligence Review*, 2023, 56(9): 9771-9807.
- [71] ZHONG W Y, YANG C, LIANG W, et al. Byzantine fault-tolerant consensus algorithms: a survey[J]. *Electronics*, 2023, 12(18): 3801.
- [72] 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.
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.
- [73] 康孟珍, 邱文忠, 陈自富, 等. 平行圆明园: 从数字孪生园林到元宇宙智慧遗址公园[J]. *智能科学与技术学报*, 2022, 4(3): 301-307.
KANG M Z, QIU W Z, CHEN Z F, et al. Parallel Yuan-Ming Yuan Imperial Garden: from digital twin garden to metaverse smart heritage park[J]. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2022, 4(3): 301-307.
- [74] 鲁越, 郭超, 潘晴, 等. 平行博物馆系统: 框架、平台、方法及应用[J]. *模式识别与人工智能*, 2023, 36(7): 575-589.
LU Y, GUO C, PAN Q, et al. Parallel museum systems: framework, platform, methods and applications[J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2023, 36(7): 575-589.
- [75] CHEN Y Y, ZHANG H, WANG F Y. Society-centered and DAO-powered sustainability in transportation 5.0: an intelligent vehicles perspective[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2023, 8(4): 2635-2638.
- [76] YU H K, LIU X Y, TIAN Y L, et al. Sora-based parallel vision for smart sensing of intelligent vehicles: from foundation models to foundation intelligence[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2024, 9(2): 3123-3126.
- [77] WANG F Y. Intelligent vehicles from your HomePorts to underwaters and low attitude airspaces: slam for smart societies[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2024, 9(2): 3092-3105.
- [78] LI X, WANG Y T, WANG K F, et al. The ParallelEye-CS dataset: constructing artificial scenes for evaluating the visual intelligence of intelligent vehicles[C]//*Proceedings of the 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium(IV)*. Piscataway: IEEE Press, 2018: 37-42.
- [79] ZHU F H, LYU Y S, CHEN Y Y, et al. Parallel transportation systems: toward IoT-enabled smart urban traffic control and management[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020, 21(10): 4063-4071.
- [80] WANG F Y. Intelligent vehicles from your HomePorts to underwaters and low attitude airspaces: slam for smart societies[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2024, 9(2): 3092-3105.
- [81] YE P J, WANG X, ZHENG W B, et al. Parallel cognition: hybrid intelligence for human-machine interaction and management[J]. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 2022, 23(12): 1765-1779.
- [82] LI H Z, HAN D Z, CHANG C C. DAC4SH: a novel data access control scheme for smart home using smart contracts[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2023, 23(6): 6178-6191.
- [83] WU Q L, WANG F Y, LIN Y T. A mobile-agent based distributed intelligent control system architecture for home automation[C]//*Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. e-Systems and e-Man for Cybernetics in Cyberspace (Cat. No.01CH37236)*. Piscataway: IEEE Press, 2001: 1648-1653.
- [84] YE P J, WANG F Y. Parallel population and parallel human—a cyber-physical social approach[J]. *IEEE Intelligent Systems*, 2022, 37(5): 19-27.
- [85] HONG Y N, ZHEN H Y, CHEN P H, et al. 3D-LLM: injecting the 3D world into large language models[J]. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2023, 36: 20482-20494.
- [86] HONG Y N, YI L, TENENBAUM J B, et al. PTR: a benchmark for part-based conceptual, relational, and physical reasoning[EB]. *arXiv preprint*, 2021, arXiv: 2112.05136.
- [87] 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.
- [88] 王飞跃. 数字医生与平行医疗: 从医疗知识自动化到系统化智能医学[J]. *协和医学杂志*, 2021, 12(6): 829-833.
WANG F Y. Digital doctors and parallel healthcare: from medical knowledge automation to intelligent metasystems medicine[J]. *Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital*, 2021, 12(6): 829-833.
- [89] 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.

[90] 王飞跃. 平行医生与平行医院: ChatGPT与通用人工智能技术对未来医疗的冲击与展望[J]. 协和医学杂志, 2023, 14(4): 673-679.

WANG F Y. Parallel doctors and parallel hospitals: impact and perspective of ChatGPT-like AIGC and AGI on medicine and medicare[J]. Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital, 2023, 14(4): 673-679.

[作者简介]



张腾超 (1999-), 男, 澳门科技大学博士生, 主要研究方向为平行智能、DAO、智能系统等。



田永林 (1994-), 男, 博士, 中国科学院自动化研究所多模态人工智能系统国家重点实验室助理研究员, 主要研究方向为平行系统、自动驾驶、场景工程。



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



倪清桦 (1999-), 女, 澳门科技大学博士生, 主要研究方向为平行智能、区块链、数字孪生、智能系统等。



宋平 (1982-), 女, 澳门科技大学硕士生, 主要研究方向为平行智能、平行管理、智能系统等。



戴星原 (1993-), 男, 博士, 中国科学院自动化研究所多模态人工智能系统国家重点实验室助理研究员, 主要研究方向为智能交通、自动驾驶、平行智能、强化学习。



李娟娟 (1986-), 女, 博士, 中国科学院自动化研究所多模态人工智能系统国家重点实验室副研究员, 主要研究方向为区块链智能、Web 3.0与平行管理。



伍乃骐 (1949-), 男, 博士, 澳门科技大学创新工程学院工程科学系主任、澳门系统工程研究所所长。研究兴趣包括生产计划和调度、制造系统建模和控制、离散事件系统、Petri网理论及其应用、智能交通系统、能源系统。



Timothy J. Lee (1963-), 男, 博士, 澳门科技大学酒店与旅游管理学院副院长、教授, 主要研究方向为康体/健康旅游、美食旅游、文化遗产旅游, 以及结合区域品牌或价值的旅游/休闲/酒店业发展。



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。