

平行博物馆：新时代博物馆运营的智能管理与控制

王春法¹, 王飞跃², 鲁越^{2,3}, 李华飙¹, 郭超^{2,3}

(1. 中国国家博物馆, 北京 100006;

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. 中国科学院大学人工智能学院, 北京 100049)

摘要: 社会的发展和公众文化需求的增长给新时代博物馆的运营管理带来了新的挑战。针对博物馆管理的现状及其在展览、教育和安全上的挑战, 提出平行博物馆这一全新解决方案, 为新时代智慧博物馆的建设提供技术参考。平行博物馆是 ACP 理论在博物馆运营管理中的应用, 通过描述智能构建虚拟博物馆, 利用预测智能在虚拟博物馆中进行大规模的计算实验, 通过引导智能和平行执行实现对真实博物馆的智能管理与控制。

关键词: 平行系统; ACP 理论; 博物馆; 智能管理与控制

中图分类号: G26

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.202113

Parallel museums: intelligent management and control of museum operations in the new era

WANG Chunfa¹, WANG Fei-Yue², LU Yue^{2,3}, LI Huabiao¹, GUO Chao^{2,3}

1. National Museum of China, Beijing 100006, China

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

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

Abstract: The development of society and the growth of public cultural needs bring new challenges to the operations and management of museums in the new era. Considering the current state of the museum management and its challenges in exhibition, education, and safety, the parallel museums framework as a new solution to the museum management was proposed, and technical reference for constructing intelligent museum was proposed. The parallel museums framework was the application of ACP theory in museum operations and management, descriptive intelligence was used to construct a virtual museum, predictive intelligence was used to do large-scale computational experiments in the virtual museum, and prescriptive intelligence and parallel execution were used to control the real museum.

Key words: parallel system, ACP theory, museum, intelligent management and control

1 引言

根据国际博物馆协会对博物馆的定义, 博物馆是一个非营利的永久机构, 为社会及社会发展而服务, 对大众开放, 以学习、教育与欣赏为目的, 收藏、保存、研究、展示与传达人类及其环境的物质与非物质证据^[1]。因此, 博物馆包含中国国家博物

馆、故宫博物院、敦煌研究院等保护和展示人类文化遗产的诸多机构, 其意义丰富, 影响广泛。

博物馆的主要功能是保护和展览文物, 相应的主要职责包括展览、教育和安全。博物馆常常通过陈列展览将文物及其资料展示给观众。随着社会的发展和公众文化需求的日益增长^[2-3], 传统的展览形式、展示规模和观众承载量已不能满足新时代下公

收稿日期: 2021-05-15; 修回日期: 2021-06-06

通信作者: 王飞跃, feiyue.wang@ia.ac.cn

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目 (No.2019YFC1521100)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2019YFC1521100)

众对展览的需求。此外,在新型冠状病毒肺炎疫情(以下简称新冠肺炎疫情)、自然灾害和恐怖主义等危险因素背景下,博物馆的展览、教育和安全^[4]面临巨大挑战。

研究者对智慧博物馆管理进行了方案设计和实施,并取得了一定进展。然而面对新时代的博物馆建设需求,智慧博物馆管理在展览、教育和安全等方面仍存在诸多运营管理难题和挑战。例如,在展览方面,丰富展览的形式、容纳更多的观众、满足公众的文化需求;利用有限的实体展厅提高展览的作用和意义,提升观众的满意度;进行展览的策划、布置、实施和反思,在满足观众观赏需求的同时起到宣传教育的作用^[5]。在教育方面,利用科技手段丰富教育内容与设计形式,实现博物馆教育的广泛普及。在安全方面,根据极少的防控经验设计博物馆的设施、藏品、人员的安全策略;在博物馆这一庞大复杂空间中设计疏散策略来实现整体的快速联动和安全处置;在不影响正常观展活动的前提下实现应急疏散的模拟;针对在馆人流分布和密度设计符合现状的疏散策略。这些难题亟须一种高效的、联动的整体解决方案。

1947年,受到摄影技术的冲击,法国哲学家马尔罗(Malraux)提出“想象博物馆(Le musée imaginaire)”的概念,通过摄影实现艺术的保存和观赏,进而脱离实体建筑形成“无墙的博物馆”^[6-7],这一畅想最终因技术不成熟而没能完成。当今机器学习^[8]和平行学习^[9]等技术框架不断发展,给博物馆的全新管理带来了可能性。针对新时代的博物馆需求和挑战,本文基于ACP理论^[9]提出平行博物馆这一研究框架,以期给出博物馆在展览、教育和安全方面的解决方案,给新时代智慧博物馆的建设提供技术参考。平行博物馆指构建与真实博物馆对应的虚拟博物馆,通过描述智能在虚拟博物馆中对真实博物馆的展览、教育和安全涉及的对象和事件进行模拟,通过预测智能进行大量方案的计算实验和模拟推演,再由引导智能根据计算实验结果给出真实博物馆的运行策略,形成人工系统(A)、计算实验(C)和平行执行(P)的闭环优化。

本文内容安排如下:第2节介绍博物馆管理和ACP理论的发展现状;第3节介绍平行博物馆的理论框架及其描述智能、预测智能和引导智能;第4节介绍和分析平行博物馆的案例;第5节总结全文。

2 相关工作综述

2.1 博物馆管理的研究现状

随着三维数据采集、虚拟现实、视觉导航、短距离通信和疏散仿真等技术的发展和应用,博物馆逐步向信息化^[10]、数字化^[11]和智慧化^[12-13]发展,由传统的线下实体展览扩展到线上的数字博物馆展览,由传统的安全管理方法发展为通过计算模拟给出安全管理方案。在博物馆的智慧化进程中,电子化办公、信息化管理、在线预约、在线展览等功能都提高了博物馆的智慧化程度。展览、教育和安全这3个博物馆的主要职责都使用了新技术,但技术手段和博物馆管理的实际结合仍不紧密,博物馆管理方案仍存在提高空间。

(1) 博物馆展览仍然非常依赖专家经验。展览是博物馆服务和教育的重要媒介,其目的一方面是满足大众的文化需要,另一方面是弘扬历史文化和中华精神,起到宣传和教育作用^[14]。博物馆展览的主题设计、展品选择、展厅布置、宣传等主要工作与展品内涵和社会环境关系密切,博物馆的展览规划常依赖专家的工作经验。虽然研究者对展示形式^[15]、陈列方式^[16]等主要展览问题进行了讨论,但是没有对展览的设计方法进行数字化记录,没有实现成功经验的有据可查,没有对展示效果进行数字化评估,使得当前博物馆展览存在方案之间借鉴性差、连续性不强和设计门槛高的问题。

(2) 博物馆的教育功能尚未得到充分发挥。教育是博物馆的核心功能之一,随着我国博物馆的飞速发展,教育理念和手段不断更新,博物馆教育逐渐成为社会教育体系中一支重要的力量^[17]。目前,博物馆的教育理念和手段仍然存在不足^[18],博物馆在教育活动设计和开展过程中存在内容简单、形式单一、受众面不广(多为青少年)等局限。近年来,研究者已经意识到博物馆教育方面的一些问题,并积极结合人工智能、虚拟现实^[19]等技术对博物馆教育进行研究。但是,由于对教育资源的数字化采集加工工作仍处于初级阶段,以及缺少对教育活动效果的有效评估,博物馆教育仍然不能真正地做到以人为本、以服务观众为核心,博物馆的教育功能尚未被充分发挥出来。

(3) 博物馆安全仍然存在制度漏洞,且博物馆对突发事件的应急处理能力依旧不高。安全是博物馆藏品保护的根本职责,藏品是博物馆的核心资产,是博物馆展览的来源,因此对藏品的安全保存

是博物馆的首要任务。博物馆的安全包含避免藏品失窃、受灾害影响、损坏、老化等问题，涉及多种场景，包含陈列布展、库房保存等。研究者意识到博物馆安全涉及制度、人员和技术等方面^[20]，但是当前仍存在安全制度不够完善、人员责任不够明确和技术应用不够恰当等问题^[21]。安全也是博物馆藏品展览职责的基本保障，博物馆要保证安全就必须有应急能力。应急能力是指博物馆在面对突发事件时对藏品及人员的保护、疏散和转移能力。近年来，元胞自动机和图论等建模方法已被应用于博物馆应急疏散方案的制订^[22]，通过对展厅、房间、人员和疏散通道等对象的建模，可以给出较优的疏散方案。但是当前的疏散策略大多存在建模粗糙、不够灵活、设计与实践脱离等问题，导致博物馆的应急方案的实际效果仍然较差^[23]。

综上所述，信息化、数字化和智能化技术在博物馆的展览、教育和安全任务中得到了应用，但是博物馆管理的各环节相对独立，无法联合运行和优化，因而技术发挥的作用有限，难以满足新时代博物馆管理的需求。因此，亟须新的理论指导给出新时代博物馆管理的解决方案，打通展览、教育和安全中各环节的信息流，联合地、整体地优化博物馆管理。

2.2 ACP 理论

ACP 理论是王飞跃研究员提出的平行系统^[9]的组成部分，ACP 分别代表人工系统（artificial systems, A）、计算实验（computational experiments, C）和平行执行（parallel execution, P），平行系统框架如图 1 所示。ACP 理论旨在解决实际系统中的复杂问题，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^[24]、应急疏散^[25]、艺术创作^[26-28]、网络安全^[29]等领域得到了成功应用。平行系统利用应用场景中的人工系

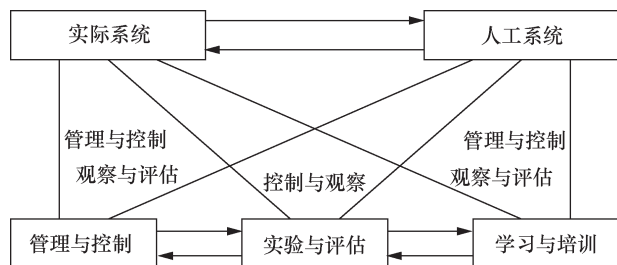


图1 平行系统框架

统和实际系统进行虚实互动、迭代优化和平行执行，以提高实际系统的应用效果。

3 平行博物馆

平行博物馆由真实博物馆和与之对应的虚拟博物馆组成，针对博物馆的展览、教育和安全等主要职责，通过描述智能、预测智能和引导智能实现对真实博物馆的建模、推演、引导控制以及虚实结合的平行执行。基于 ACP 理论的平行博物馆的理论框架如图 2 所示。

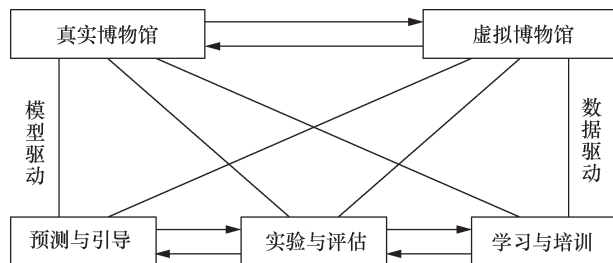


图2 基于 ACP 理论的平行博物馆的理论框架

(1) 通过描述智能构建虚拟博物馆。针对博物馆的管理任务，虚拟博物馆在时间、空间和功能等多方面对真实博物馆进行采集、监测和模拟。虚拟博物馆不仅是真实博物馆实时状态的体现，同时还可以进行展览模拟、安全演练等真实博物馆中难以进行的实验。

(2) 通过预测智能在虚拟博物馆中进行计算实验。预测智能可以发挥虚拟博物馆的优势，进行大量的展览、安全等任务的模拟推演，借助平行学习等机器学习技术处理冗余数据和进行数据提纯，模拟出多种情况下的参考决策。

(3) 通过引导智能制订真实博物馆的运行策略。根据虚拟博物馆中预测智能推演的虚拟案例和真实博物馆的运行状态，引导智能给出真实博物馆的运行策略。引导智能对真实博物馆的控制可使描述智能采集到更多真实博物馆的数据，进行更加精准的虚拟博物馆建模，进而由虚实博物馆的平行执行提高真实博物馆的管控效果。

面向智慧博物馆的智慧展示、智慧服务、智慧保护和智慧管理等功能应用及其在展览、教育和安全 3 个方面的主要职责，平行博物馆通过描述智能、预测智能和引导智能，实现智慧博物馆的透彻感知、泛在互联、自主学习和迭代提升的目标，给出智慧博物馆^[30]的参考技术方案。平行博物馆对智慧博物馆的技术支撑结构如图 3 所示。



图3 平行博物馆对智慧博物馆的技术支撑结构

本节将从描述智能、预测智能和引导智能方面论述平行博物馆在展览、教育和安全方面的应用方案。

3.1 平行博物馆的描述智能

博物馆是一个庞大的复杂性系统，平行博物馆的描述智能的目的在于针对博物馆的展览、教育和安全等主要职责，构建一个精细的、高还原度的虚拟博物馆。通过全方位和多层次的信息采集和融合加工，实现智慧博物馆的透彻感知和泛在互联的目标。

虚拟博物馆从空间、时间和功能等多个方面对真实博物馆进行采集、监测、模拟和推演，在建模对象、模拟任务和涉及学科上具有高度的复杂性。针对博物馆的展览、教育和安全等职责，虚拟博物馆中具备虚拟藏品、虚拟设施、虚拟环境、虚拟人员和虚拟观众等建模对象，建模过程涉及多学科、跨学科、超学科的知识，是博物馆学、文化科学、社会计算科学和复杂性科学等交叉学科的应用。虚拟博物馆的建模对象和涉及学科如图4所示。

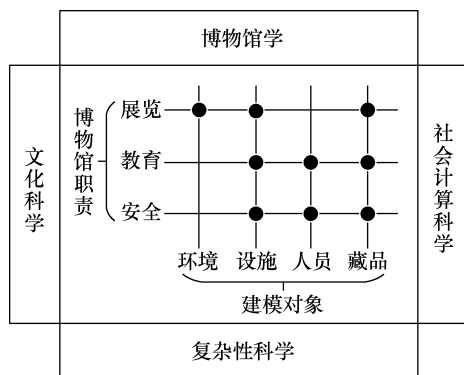


图4 虚拟博物馆的建模对象和涉及学科

虚拟博物馆针对真实博物馆的主要职责和对象进行相应建模。虚拟博物馆利用室内高精度定位^[31]、三维数据采集和三维重建等技术对藏品、设施和环境等对象进行建模，通过人脸识别^[32]、人流监控和人员评价等技术对博物馆中的人员和观众进行建模。下面依次论述虚拟博物馆在展览、教育和安全

方面的建模方法，即描述智能。

(1) 展览的描述智能

针对博物馆在观众体验和文化教育方面的展览目标，平行博物馆的描述智能对展览涉及的各种因素和对象进行时间和空间上的虚拟构建。在空间上，描述智能通过博物馆建筑、展厅、设施、展品的三维扫描获取展览中主要物理对象的空间信息，包括展品的空间尺度和位置、光照的强度和分布以及设施的功能和分布等。在时间上，描述智能将展览流程、观展路线等信息量化建模，并采集和记录展览过程中的重要时变因素，例如人流的分布和密度、观众的轨迹、停留时间和观展体验。平行博物馆利用三维扫描和建模、光场模拟^[33]、人脸识别、人体姿态和人脸表情识别等技术实现对展览的空间和时间建模。此外，平行博物馆利用跨区域、跨摄像头的人脸识别、体态识别和步态识别对游客数据进行联合分析，得出游客的游览顺序、轨迹和对每个藏品的观赏时间，结合表情识别和肢体语言识别判断游客的观赏心情，建立游客观展体验的综合数据库。需要注意的是，描述智能在采集游客信息时使用了差分隐私等技术，以处理数据中的隐私问题。

(2) 教育的描述智能

平行博物馆的教育描述智能以实现博物馆的教育功能为主要目标进行教育内容数字化，为社会教育活动的开展提供数据支撑。教育内容数字化主要对藏品数据进行采集，通过进一步加工创作形成教育数字资源。教育过程的数字描述包括受教育人员偏好记录和教育反馈记录。前者指受教育人员在教育活动开展过程中的行为偏好信息，以此为基础可以对受教育人员的偏好进行建模；后者是通过数字化方法记录受教育人员在教育活动结束后的评价信息，为教育内容优化提供数据支撑。

(3) 安全的描述智能

平行博物馆的安全的描述智能既面向藏品安全，也面向博物馆人员安全，既是对“物”的安全描述，也是对“人”的安全描述。安全的描述智能涉及建筑、设备、藏品等多层次的对象，需要考虑宏观和微观两个层次。从宏观上看，安防设备的运行状态、藏品的位置和保存时间、可疑人员和可疑事件的监测记录是描述智能需要涵盖的内容。从微观上讲，藏品的表面材质和特性，库房的温湿度、

粉尘、光照等物理环境，以及碱性、菌落等生物环境，都需要进行精准的建模。针对博物馆中人员安全和藏品保护的目标，平行博物馆通过描述智能对相关因素进行精确的采集和建模。针对藏品的保护任务主要包括展览藏品和保存藏品的安全。针对博物馆人员的安全保护任务主要包括人员行为监测和突发事件应对，其中突发事件应对是安全的描述智能的重要组成部分。在突发事件中，描述智能对静态因素进行建模，包括博物馆建筑和展厅的分布、逃生通道的分布及人流承载量、库存藏品的分布和数量等；同时也对动态因素进行建模，包括观众的分布、观众的人群组成和展品的分布等信息。突发事件具备动态变化和快速变化的特点，因此虚拟博物馆不是真实博物馆某一时间点的快照，而是对真实博物馆随时间变化的动态过程的模拟，结合多模态信息采集和传感器网络等技术，持续地更新虚拟博物馆模型，以实现后续实时的应急策略制订。

平行博物馆的描述智能针对博物馆的展览、教育和安全职责构建了高精度的虚拟博物馆，为后续的预测智能提供了推演场景和数据，是平行博物馆的基础环节。

3.2 平行博物馆的预测智能

平行博物馆的预测智能借助虚拟博物馆中的设施、藏品、人员等虚拟对象，针对博物馆在展览、教育和安全上的职责进行计算实验，完成相关事件的模拟推演和对未来趋势的预测，实现智慧博物馆的自主学习目标。

为了实现真实博物馆高效低风险的运行，平行博物馆的预测智能在虚拟博物馆中进行了大量大规模、高计算量、大数据的计算实验，传统的数据处理和机器学习方法已不能很好地满足这些计算需求。平行学习^[34]是针对现有学习方法面对的数据处理和策略搜索等问题提出的一种机器学习理论框架，平行博物馆的虚实互动的博物馆系统正是平行学习适应的应用场景，平行学习的框架流程^[8]如图5所示。平行学习通过数据和行动两方面策略有效完成虚拟博物馆的预测任务。平行学习及其扩展框架——平行强化学习^[35]将给平行博物馆提供有效的机器学习框架支撑。

平行博物馆的预测智能利用描述智能的建模数据从博物馆的展览、教育和安全3个方面对其中的关键事件进行推演预测。

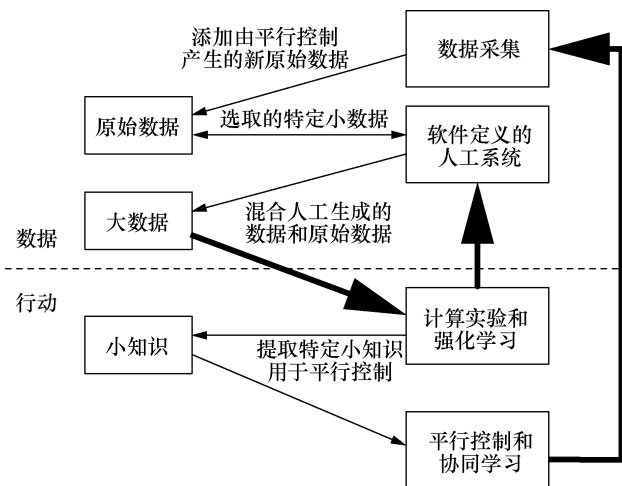


图5 平行学习的框架流程

(1) 展览的预测智能

平行博物馆的展览的预测智能针对观众体验和宣传教育效果等展览目标，根据描述智能采集到的展览信息推演各种因素对展览效果的影响，包括展览布局、展品顺序、观展路线、观众流量、解说时长和顺序等。展览的预测智能涉及的技术包括人流密度的仿真、展览效果的预测、美学的感知认知^[36]等。预测智能结合已有的展览数据和算法生成的展览数据进行学习，为每种展览方案给出展览过程的模拟、展览效果的预测和输出展览因素的影响权重。

(2) 教育的预测智能

平行博物馆的教育预测智能针对博物馆实现社会教育功能的目标，根据描述智能采集到的信息和建模后的数据对教育活动的策划、筹备、开展、反馈环节等进行合理推演，同时实现对博物馆教育活动效果的分析和预测。按照各类受教育人员对不同内容和形式的教育活动的感兴趣程度，能够得出不同群体的教育活动偏好，指导博物馆逐步扩大教育的受众群体。预测结果能够使博物馆有针对性地开展教育活动、完善教育内容，从而解决博物馆教育中人、财、物投入大，但实际效果和反馈评价不高的问题，有助于博物馆将教育资源最大限度地提供给受教育人员，真正地服务于社会教育事业。

(3) 安全的预测智能

平行博物馆的安全的预测智能针对博物馆的安全问题，利用描述智能采集的样本数据进行小样本学习，模拟和推演出更多的安全数据。在设备运维方面，预测智能根据设备的上线状态、运行日志

等信息对设备进行状态预测,推演设备的峰值负荷能力和节能配置方案。在藏品保管方面,预测智能结合对库房的物理和化学环境的分析和模拟、库房中人员的进出和影像信息、藏品的材质和现有状态,预测出藏品未来可能的动态变化。平行博物馆通过对藏品进行状态预测可以推演出未来可能发生的藏品侵害,在很短的时间内得到传统方法需要长期实验和观察才能得到的数据,避免库房中微小的环境差异对藏品造成累积性侵害^[30],防止人工检查疏漏带来的安全隐患,使藏品保护实现防患于未然。在突发事件应急方案设计方面,平行博物馆通过预测智能对应急方案进行模拟推演,针对地震、火灾、恐怖袭击等典型应急场景进行疏散方案设计。虚拟博物馆通过高精度传感器和持续的采集更新来获得海量的精准数据,预测智能在这些海量数据中进行特征提取和重要信息的挖掘。针对人类的高度智能体的不确定特性及疏散过程的动态变化,预测智能通过社会计算和知识图谱进行人员疏散建模,模拟输出实时疏散策略。

传统的博物馆管理根据已发生的问题制订管理策略,依赖专家经验;而平行博物馆的预测智能对未来可能发生的问题提前进行模拟,其考虑范围超过专家经验范围,防患于未然。预测智能充分利用描述智能采集到的数据,经过计算实验推演出各种情况下的事件案例,为后续的引导智能提供决策依据。

3.3 平行博物馆的引导智能

平行博物馆的最终目的是通过虚拟博物馆的构建和模拟推演,引导真实博物馆进行更优的展览、教育和安全设计。针对博物馆在展览、教育和安全方面的任务,平行博物馆的引导智能根据预测智能的多种事件案例推演结果,制订相应的博物馆管理策略,引导真实博物馆运行,实现智慧博物馆迭代提升的目标。引导智能在平行博物馆中的作用如图6所示。

(1) 展览的引导智能

根据描述智能和预测智能的虚拟大数据,平行博物馆的引导智能对真实博物馆的展览进行方案制订和流程的实时引导,实现智慧展示和智慧导览。在展览方案上,引导智能将在预测智能的推演数据中根据主办人员的条件或要求筛选出推荐的展览方案,包括展品的主题、展品的展示周期、展览藏品的空间布置、展览流程的控制、参展观众

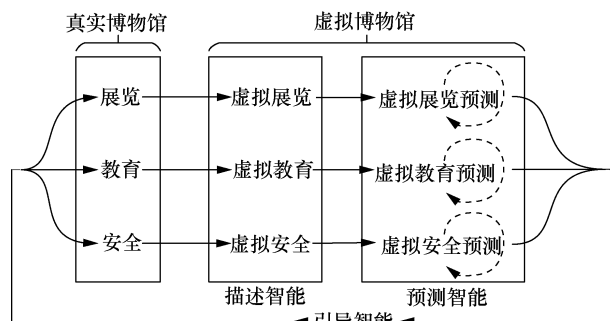


图6 引导智能在平行博物馆中的作用

的画像预测等,实现较优的预期展览效果。在展览流程控制方面,引导智能借助描述智能的实时监测、展览馆中的电子信息屏信息指示和讲解员讲解,引导控制带团讲解的路线、速度、停留时间等,使馆内人群分布维持舒适状态,避免人群的聚集和拥挤。

(2) 教育的引导智能

平行博物馆的引导智能利用教育的描述智能和预测智能获取的大数据为教育活动的开展形式和内容制订最优策略。针对不同的受教育群体,系统通过选择该群体的特征属性值,根据推演经验推荐最合适的教育活动形式和内容,保证活动形式新颖有趣、活动内容适于理解掌握等。同时,对反馈数据的建模分析可以实现教育内容优化以及受教育者的个性化推荐,进一步提升博物馆教育活动的质量和效果。

(3) 安全的引导智能

平行博物馆的引导智能通过预测智能的安全事件推演制订博物馆的安全策略,提前防范安全问题,或者出现安全问题时及时报警,形成智慧博物馆的智慧楼宇。同时,平行博物馆通过引导智能为馆内的极端突发情况制订最快速的疏散路线,以及快速的藏品转移、消防处置方案,保证博物馆的藏品安全和人员安全。在展览安全方面,引导智能将以往经验及预测智能的推演经验与成本和展览需求结合起来,为展品设计符合要求的安全保护等级和保护形式。在藏品保存安全方面,引导智能通过预测智能的推演数据制订藏品的保存策略,控制库房的物理化学条件,保证库房中所有藏品的保存环境。平行博物馆对真实博物馆的安全策略进行引导控制,消除潜在的安全问题,引导制订更安全的布展和收藏策略,实现智慧库房以及库房文物的智慧保护、无损检测和预防性保护。在突发情况解决方案制订方面,引导智能针对人员疏散问题,考虑被

疏散者的性格和人员间的相互影响，避免排队、拥堵和踩踏，优化疏散目标。现有方法一般针对突发情况给出一次性的疏散方案，但是受不确定性因素的影响，疏散方案执行过程中难免出现疏散进度与规划不一致的情况，引导智能将克服现有模型对应急影响因素考虑不足的问题，针对疏散状态实时更新疏散方案。针对观众不熟悉疏散路线、高层建筑结构复杂、展厅临时变化等问题，引导智能将进行实时的疏散引导，同时完成突发事件的快速处置^[37]以及藏品保护和转移。针对疏散路线上走散的人员、出现的拥堵现象和险情，引导智能将实时调整疏散方案，保证疏散进度的可控性。

经过平行博物馆的引导智能控制，真实博物馆优化自身在展览、教育和安全方面的能力，虚拟博物馆利用描述智能采集到相应变化，再经过预测智能进行新一轮的模拟推演，最后形成描述、预测和引导的循环迭代和闭环控制。

4 案例分析

针对新时代博物馆的发展需求，平行博物馆通过描述智能构建与真实博物馆对应的虚拟博物馆，再由预测智能在虚拟博物馆中进行计算实验，最后通过引导智能给出真实博物馆的运营管理方案，并进行不断的平行执行和迭代提升。近年来，三维扫描和建模、虚拟展厅等技术已经在博物馆中得到了应用。这些博物馆管理的创新技术与方法主要对应于平行博物馆的描述智能部分，是平行博物馆的特例。本节将介绍这些具有代表性的案例，并分析其在平行博物馆中的角色和作用。

4.1 古文物和建筑的数字化采集

古文物和建筑的数字化采集是应用较成熟的技术，典型的案例包括中国国家博物馆的馆藏文物三维数字化采集与展示、故宫博物院的数字化系列应用和敦煌研究院的数字化洞窟采集。为了实现馆藏文物的三维数字化保护、传播与利用，中国国家博物馆全面开展了古代文物高精度三维数据采集，结合多种三维数据采集技术手段，利用多源数据融合技术，对珍贵文物进行了三维数字化建模，结合3D打印技术，实现了古代文物高保真复制与虚拟复原；同时利用数字展示技术将珍贵文物的三维数据进行在线虚拟展示，使公众能够随时随地360°欣赏古代文物的精美细节；

利用空间场景三维采集技术实现了考古遗迹的三维数字化采集，让公众及时地欣赏到考古发掘的宝贵成果。中国国家博物馆古代文物三维数字化采集样例如图7所示。



图7 中国国家博物馆古代文物三维数字化采集样例

为了满足公众对故宫的观赏需求及故宫文物的数字化保护需求，故宫博物院应用全景采集、三维扫描等技术构建了全景故宫、V故宫、数字多宝阁等一系列数字化应用。全景故宫采集了故宫博物院中主要宫殿的外景、内景，仿照真实宫殿的排布方式进行展示，还可以选择查看同一位置不同季节的景色。V故宫对故宫博物院中的养心殿、灵沼轩等宫殿进行三维的虚拟现实建模，还对灵沼轩建筑中的破损部分进行还原，使得灵沼轩在数字世界得以完整展现。数字多宝阁囊括了数件古文物的三维扫描数据，公众可以调整三维模型的旋转角度，从而观察古文物细致的纹理等信息。与上述故宫博物院的数字化应用类似，为了对敦煌石窟进行数字化保护、宣传敦煌石窟文化，敦煌研究院进行了石窟的数字化采集工程，通过采集和三维重建，敦煌石窟可以以生动的三维形式通过网络向公众展示^[38]。古文物和建筑的数字化采集是文物保护的重要手段，体现了平行博物馆的描述智能，将真实场景虚拟化和数字化，使得文物永久地保存下来。古文物和建筑的数字化采集案例如图8所示。

4.2 虚实结合的数字展览馆

中国国家博物馆数字展厅将展览以数字化的方式展现在网站中，便于观众云观展，无须到达现



图8 古文物和建筑的数字化采集案例

场就可以拥有身临其境般的观感体验，在新冠肺炎疫情期间发挥了良好作用，深受观众欢迎和认可。中国国家博物馆数字展厅能够呈现实体展览的完整信息，既可以欣赏展览整体布局效果，也可以查看展览中每件文物的详细情况，总体上技术先进、参观路线清晰明了、内容丰富精彩。

端门数字馆^[39]是由故宫博物院推出的一种新型展览馆，它运用虚拟现实、增强现实等技术，使数字化视听技术在古建筑上得以呈现。虚拟博物馆的部分功能已经以新型在线博物馆等形式体现，包括目前真实博物馆内的可视化三维触屏一体机、在线的增强现实和虚拟现实博物馆、跨平台的全景漫游及藏品的3D展示、智慧楼宇等。与这些信息化手段的展示不同的是，虚拟博物馆将从宏观到微观多层次、全方面地对真实博物馆构建跨时间的动态模型。

4.3 无实体云展览：“永远的东方红”

“永远的东方红 纪念‘东方红一号’卫星成功

发射五十周年”（以下简称“永远的东方红”）是中国国家博物馆推出的首个无实体线上展游平台，其将虚拟展厅、虚拟展品与三维建模技术结合起来实现虚拟展览的虚拟现实漫游。相比于实体展览，“永远的东方红”具备展厅鸟瞰、展厅三维展示等实体展厅不具备的观察视角。观众还可以通过点击、移动等操作方式在虚拟展厅中漫游，并快捷方便地查看相关视频和文字资料，使展厅的内容承载量和展示层次都更加丰富。无实体虚拟展厅既满足了观众的观展需求，又实现了难以获得的资料的展览和更加全面丰富的资料展示，促进了公众对在线文化传播的关注^[40]。“永远的东方红”无实体云展厅如图9所示。

4.4 智能决策、以虚控实的馆长驾驶舱

为了实现博物馆数据融合、精准服务、高效管理、协同安防，中国国家博物馆启动了馆长驾驶舱项目，该项目以馆舍建筑信息模型（building information modeling, BIM）为基础，对博物馆馆



图9 “永远的东方红”无实体云展厅

舍进行全景立体数字呈现，同时融合客流、藏品、展览、安全、视频监控等数据，构建博物馆大数据模拟仿真系统，并对系统进行平行学习、计算实验、优化演练，以得到最优管控策略，实现对真实博物馆的智能决策、动态管控。中国国家博物馆馆长驾驶舱如图10所示。

以上4个案例的特点依次为根据真实构造虚拟，真实和虚拟结合，无实体的虚拟展厅，智能决策、以虚控实的馆长驾驶舱。前3个案例是平行博物馆中描述智能的体现，智能决策、以虚控实的馆长驾驶舱初步集中体现了描述智能、预测智能和引导智能，但是这些实践案例不是平行博物馆的全部

内容。相信随着平行学习等技术的进一步应用，平行博物馆的预测智能和引导智能等更深层次的功能将在更多的案例中体现出来，未来将依靠平行博物馆的管理方式更好地实现和拓展博物馆的功能。

5 结束语

本文将ACP理论应用于博物馆的运营管理，提出了平行博物馆的理论框架，并对其组成部分、技术方法和应用案例进行了论述。平行博物馆服务于博物馆智能化发展，最终将实现6S：博物馆及观众的物理世界安全（safety）、藏品及文化的网络世界安全（security）、藏品展览的整体发展可持续



图10 中国国家博物馆馆长驾驶舱

(sustainability)、保障隐私和个性化展示(sensitivity)、全面的服务(service)以及智慧的博物馆运营管理(smartness)。

本文讨论了平行博物馆的理论框架及其主要组成部分,其目的在于更好地实现博物馆原本的服务和教育功能。在平行博物馆的技术实现中,无感和舒适的信息采集、保护隐私的信息利用、防止技术主义泛滥^[41]等都是值得深入研究的方向。未来,平行博物馆将作为智慧博物馆中智慧大脑的主要技术框架,通过联邦数据^[42]实现不同博物馆间的数据交互,实现对智慧博物馆一实一虚两条主线的质量维系和效果提升,促进构建“没有围墙的博物馆”^[43],让文物“活起来”。

参考文献:

- [1] DESVALLÉES A, MAIRESSE F. Key concepts of museology[M]. Paris: Armand Colin, 2010.
- [2] 王春法. 智慧博物馆建设中的机遇和挑战[J]. 中国国家博物馆馆刊, 2019(1): 6-9.
WANG C F. The opportunity and challenge in the construction of a smart museum[J]. Journal of National Museum of China, 2019(1): 6-9.
- [3] 王春法. 科学文化的社会功能[J]. 科技导报, 2019, 37(9): 6-10.
WANG C F. Social functions of scientific culture[J]. Science & Technology Review, 2019, 37(9): 6-10.
- [4] 周敏, 董海荣, 徐惠春, 等. 平行应急疏散系统: 基本概念、体系框架及其应用[J]. 自动化学报, 2019, 45(6): 1074-1086.
ZHOU M, DONG H R, XU H C, et al. Parallel emergency evacuation systems: basic concept, framework and applications[J]. Acta Automatica Sinica, 2019, 45(6): 1074-1086.
- [5] CAO G Y, ZENG K M. Design of digital museum narrative space based on perceptual experience data mining and computer vision[C]//Proceedings of the 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems. Piscataway: IEEE Press, 2021: 444-448.
- [6] 王思怡. 博物馆的未来, 重塑“具身博物馆”新形态: 从2021年世界博物馆日主题说起[J]. 博物院, 2021(2): 31-38.
WANG S Y. The future of museums, reshaping new paradigm: a thought about the theme of international museum day 2021[J]. Museum, 2021(2): 31-38.
- [7] ANDRE M. Le musée imaginaire[M]. Paris: Gallimard Folio Essais, 1947.
- [8] LI L, LIN Y L, CAO D P, et al. Parallel learning—a new framework for machine learning[J]. Acta Automatica Sinica, 2017, 43(1): 1-8.
- [9] 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.
- [10] 王景武. 基于物联网技术的博物馆信息化与智能化服务模式研究[J]. 情报科学, 2020, 38(11): 45-50.
WANG J W. Research on museum information and intelligent service mode based on Internet of Things technology[J]. Information Science, 2020, 38(11): 45-50.
- [11] 耿然. 馆藏文物及博物馆的数字化管理探讨[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2021(12): 109-113.
GENG R. Discussion on digital management of cultural relics and museums[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2021(12): 109-113.
- [12] KOSMOPOULOS D, STYLIARAS G. A survey on developing personalized content services in museums[J]. Pervasive and Mobile Computing, 2018, 47: 54-77.
- [13] 李华飙, 李洋, 王若慧. 智慧博物馆建设标准及评价方法的初步研究[J]. 中国博物馆, 2021, 38(1): 87-93, 128.
LI H B, LI Y, WANG R H. Preliminary research on construction standards and evaluation methods of smart museum[J]. Chinese Museum, 2021, 38(1): 87-93, 128.
- [14] 沈辰. 再论当代博物馆的策展: 展览主题立意和陈列设计的关系[J]. 故宫博物院院刊, 2021(5): 4-13, 107.
SHEN C. On the contemporary museum exhibition curation: theme and display[J]. Palace Museum Journal, 2021(5): 4-13, 107.
- [15] 王娟. 博物馆展览形式设计的表达与实现[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2021(11): 154-156.
WANG J. The expression and realization of museum exhibition form design[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2021(11): 154-156.
- [16] 李琦. 试分析博物馆展览设计中的陈列展示方式[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2021(12): 127-129.
LI Q. Try to analyze the ways of display in museum exhibition design[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2021(12): 127-129.
- [17] 刘明骞. 我国博物馆教育研究的分析与评述[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2021(13): 122-125.
LIU M Q. Analysis and comment on the research of museum education in China[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2021(13): 122-125.
- [18] 崔龙妹. 新时期下博物馆观众教育服务模式探究[J]. 今古文创, 2021(24): 110-111.
CUI L M. Exploration of museum visitor education service mode in the new era[J]. JinGu Creative Literature, 2021(24): 110-111.
- [19] 郭洁. 基于人工智能在博物馆宣传教育中的应用[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2021(11): 136-138.
GUO J. Based on the application of artificial intelligence in museum propaganda and education[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2021(11): 136-138.
- [20] 肖瑾. 当前博物馆文物安全工作中存在的问题与对策分析[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2021(12): 142-144.

- XIAO J. Analysis of the problems and countermeasures in the safety work of museum cultural relics[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2021(12): 142-144.
- [21] 徐巍. 博物馆文物安全工作探讨[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2021, 204(9): 110-112.
- XU W. Discussion on the safety work of museum cultural relics[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2021, 204(9): 110-112.
- [22] 王洁琼. 基于元胞自动机和图论的博物馆紧急疏散路线规划[J]. 电子技术与软件工程, 2020(10): 151-152.
- WANG J Q. Emergency evacuation route planning for museums based on cellular automata and graph theory[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2020(10): 151-152.
- [23] 冯昱辉, 代江枫. 博物馆安全问题小议[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2021(9): 57-59.
- FENG Y H, DAI J F. A brief discussion on the safety of museums[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2021(9): 57-59.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 王飞跃. 平行艺术: 从艺术的智能化到智能的艺术化[R]. 2017
- WANG F Y. Parallel art: from intelligent art to artistic intelligence[R]. 2017
- [27] 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.
- [28] 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. Piscataway: IEEE Press, 2020: 673-678.
- [29] 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.
- [30] 王春法. 关于智慧博物馆建设的若干思考[J]. 博物馆管理, 2020(3): 4-15.
- WANG C F. Some thoughts on the smart museum construction[J]. Museum Management, 2020(3): 4-15.
- [31] SPACHOS P, PLATANIOTIS K N. BLE beacons for indoor positioning at an interactive IoT-based smart museum[J]. IEEE Systems Journal, 2020, 14(3): 3483-3493.
- [32] SAITO N, KUSUNOKI F, INAGAKI S, et al. Novel application of an RGB-D camera for face-direction measurements and object detection: towards understanding museum visitors' experiences[C]//Proceedings of the 2019 13th International Conference on Sensing Technology. Piscataway: IEEE Press, 2019: 1-4.
- [33] 王飞跃, 孟祥冰, 杜思聪, 等. 平行光场: 基本框架与流程[J]. 智能科学与技术学报, 2021, 3(1): 110-122.
- WANG F Y, MENG X B, DU S C, et al. Parallel light field: the framework and processes[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2021, 3(1): 110-122.
- [34] LI L, LIN Y L, ZHENG N N, et al. Parallel learning: a perspective and a framework[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2017, 4(3): 389-395.
- [35] LIU T, TIAN B, AI Y F, et al. Parallel reinforcement learning: a framework and case study[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2018, 5(4): 827-835.
- [36] 鲁越, 郭超, 林懿伦, 等. 绘画艺术图像的计算美学: 研究前沿与展望[J]. 自动化学报, 2020, 46(11): 2239-2259.
- LU Y, GUO C, LIN Y L, et al. Computational aesthetics of fine art paintings: the state of the art and outlook[J]. Acta Automatica Sinica, 2020, 46(11): 2239-2259.
- [37] 张宇. 博物馆快速消防处置机制的意义及实施要点[J]. 博物馆管理, 2021(2): 87-94.
- ZHANG Y. Significance and implementation of emergency fire control in museum disposal mechanism[J]. Museum Management, 2021(2): 87-94.
- [38] 韩春平. 敦煌学数字化研究综述[J]. 敦煌学辑刊, 2009(4): 168-183.
- HAN C P. Review of digitalization of dunhuang science[J]. Journal of Dunhuang Studies, 2009(4): 168-183.
- [39] 黄墨樵. 故宫文化遗产展示的创新实践浅谈: 端门数字馆设计综述[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2016(8): 57-61.
- HUANG M Q. Discussion on the innovative practice of cultural heritage exhibition of the forbidden city: a summary of the design of duanmen digital museum[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2016(8): 57-61.
- [40] 余晓洁, 马丽. 博物馆云端智慧传播初探: 以中国国家博物馆实践为例[J]. 博物院, 2021(2): 39-46.
- YU X J, MA L. A preliminary study on online intelligent communication for museums: taking national museum of China as an example[J]. Museum, 2021(2): 39-46.
- [41] 王春法. 打造新时代博物馆新型智库推动博物馆高质量发展[J]. 博物馆管理, 2019(1): 8-15.
- WANG C F. Building the new think tank and promoting the high-quality development of the museum in a new era[J]. Museum Management, 2019(1): 8-15.
- [42] 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.

[43] 王春法. 构建起“没有围墙的博物馆”[J]. 中国政协, 2020(18): 54-55.

WANG C F. Build a museum without walls[J]. Chinese People's Political Consultative Conference, 2020(18): 54-55.



鲁越(1994-), 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博士生, 主要研究方向为机器学习、小样本学习、风格迁移等。

[作者简介]



王春法(1963-), 男, 中国国家博物馆馆长, 主要研究方向为科技政策与科学文化、博物馆管理、智慧博物馆。



李华飙(1976-), 男, 中国国家博物馆数据管理与分析中心主任, 主要研究方向为智慧博物馆、文物数字化技术。



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, 主要研究方向为智能系统和复杂系统的建模、分析与控制。



郭超(1992-), 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博士生, 主要研究方向为机器学习、强化学习、机器艺术创作、三维结构认知等。