



# 数字孪生视阈下智慧图书馆业务融合研究

□许鑫\* 兰昕蕾 邓璐芴

**摘要** 在数字生态预测和管理技术不断发展及新型信息系统和工业智能的持续推动下,数字孪生理念应运而生。通过对现阶段图书馆运行存在的业务割裂问题进行深入研究,以智慧图书馆业务分解和融合重构为切入点,融合数字孪生理论与图书馆业务,构建与智慧图书馆实体空间精准映射和实时交互的数字孪生体,利用敏捷高效的软件架构及高效计算与处理、多尺度动态建模、沉浸式交互等技术,构建智慧图书馆业务融合方案,实现智慧图书馆业务的有机融合和协同创新。

**关键词** 数字孪生 智慧图书馆 业务融合

**分类号** G250

**DOI** 10.16603/j.issn1002-1027.2022.02.008

图书馆是不断生长的有机体,从藏书楼到数字图书馆,再发展为智慧图书馆,图书馆随所处环境的变化不断更迭。在新技术支持下,智慧图书馆逐渐成为图书馆发展的新形态,呈现出高度的智慧性、数字化、泛在化等特征,图书馆的业务体系也逐渐从围绕纸本资源展开向以知识资源为主转变。在智慧图书馆理念驱动下,业务的分解和重构已成为图书馆日常管理的重要组成部分。图书馆通过对不同业务的调用和组合来提供创新服务,将业务封装为不同模块、不同面向的微服务来更好地服务用户。但这种业务调用大多只是基于信息系统的整合、拼装,业务整合主要侧重于信息技术在实体空间上的优化,没有真正解决图书馆在实体与数字、现实与虚拟、线上与线下的业务融合,充其量只是作为数字图书馆或智能图书馆生硬的延伸,并未真正实现智慧图书馆的“全面感知、数据全覆盖”,实体和虚拟空间的业务也未达到有机融合、协同创新的标准。数字孪生(Digital Twin)概念的出现及相关解决方案的诞生,模糊了现实与虚拟的界限。数字孪生利用数据和数据管理来支持目标系统的相关服务,具有高效、智能、可持续的特点<sup>[1]</sup>,它是物联网(The Internet of Things, IoT)技术的进一步发展和完善,赋予了图书

馆创新的可能,尤其是在智慧图书馆业务融合方面起到了重要的作用。

## 1 基本概念与相关研究

### 1.1 数字孪生概念和应用

数字孪生指连接物理和虚拟世界的生物(Living)或非生物(Non-living)的物理实体的数字复制品,实现物理实体和虚拟实体的连接及数据无缝传输,并允许物理实体与虚拟实体同时存在<sup>[2]</sup>。数字孪生概念起源于美国军方在阿波罗计划相关研究中提出的“孪生体”(Twin)概念,即制造两个完全相同的太空飞行器,其中一个送入太空执行飞行任务,而另一个留在地球用于模拟执行飞行任务的飞行器的各项数据及其状态,后者被称为孪生体。在数字孪生这一概念正式被提出前,2002年美国密歇根大学迈克尔·格里夫斯(Michael Grieves)教授在向行业介绍产品生命周期管理时,提出“与物理产品等价的虚拟数字化表达”的概念<sup>[3]</sup>,随后经过虚拟对应物(Virtual Counterpart)<sup>[4]</sup>、镜像空间模型(Mirrored Space Model)<sup>[5]</sup>、信息镜像模型(Information Mirroring Model)<sup>[6]</sup>等概念的演变,最后发展为数字孪生。数字孪生解决方案主要通过收集某一物体

\* 国家社会科学基金项目“图书馆智慧空间的理论构建与实践应用研究”(编号:18BTQ028)研究成果之一。

通讯作者:许鑫,ORCID: 0000-0001-7020-3135,邮箱:xxu@infor.ecnu.edu.cn。



的组成、运作数据和对环境做出反应的数据,以及物理世界中传感器提供的数据,来分析和模拟现实世界,进而对变化做出反应,并加以改进操作并增加价值<sup>[7]</sup>。

数字孪生从工业延伸到其他领域是其发展的必然结果。近年来,数字孪生在理论和技术方面取得了巨大进展,由航空航天、生产制造等领域向模拟仿真、虚拟现实/增强现实/混合现实(Virtual Reality/Augmented Reality/Mixed Reality, VR/AR/MR,以下简称3R)等领域转移,在产品生命周期中的适用阶段也逐渐由仿真建模向规划、管理、运维等其他阶段延展,尤其在实时数据采集和仿真数据处理两方面具有强大的潜力和优势<sup>[8]</sup>。数字孪生源于仿真技术,但既区别于传统的计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD),也区别于以传感器为基础构建的物联网系统网络,它更多的优势体现在能够很好地展现出完整的数字环境和过程状态<sup>[9]</sup>。Gartner 2018年新兴技术成熟度分析,数字孪生预计将在未来5—10年内达到高峰期。当前,数字孪生理念及技术已在工业生产领域形成了较为成熟的模型体系,如Oracle数字孪生业务体系,主要围绕Oracle的物联网云相关技术实施,具体分为虚拟孪生(Virtual Twin)、预测孪生(Predictive Twin)和投影孪生(Twin Projection)三个步骤,分别对应构建实体模型参数、实体未来状态和行为建模、实体状态和业务应用预测性商业洞察<sup>[10]</sup>;以及微软基于Azure云提供的数字孪生服务,可对企业能源、建筑、空间的占用和使用、设计和建造、用户体验<sup>[11]</sup>进行优化,构建最优解决方案,提高整体运营效率。

## 1.2 图书馆业务

随着技术的发展和时代的变迁,图书馆逐渐从最初以藏为中心,到以流通为中心,直至如今的以知识交流为中心、以用户为主导、全面智能化的第三代图书馆,建设目标也遵循“传统图书馆—数字图书馆—智慧图书馆”的趋势进行转变。传统图书馆的业务中心以印刷型文献资源为主,业务主要围绕文献资源展开,包括采编、典藏、流通、借阅、参考咨询等,本质是基于实体文献的业务体系。数字图书馆阶段,信息技术的发展使图书馆工作方式发生了极大变化,引入计算机辅助的信息系统,代替了原本要人工重复进行的工作。同时,纸质资源的全面数字化进一步推进了业务变革、业务间相互融合优化,但

实质上图书馆的业务重心和工作基本流程并未发生变化,只是由纸质资源转变为电子资源,业务间融合也只是基于系统的简单整合。目前大多数图书馆的主要业务大体分为六类,分别为资源建设、参考咨询、网络运营、信息应用、读者服务及行政管理,并在业务的基础上衍生出不同的职能部门。如今的图书馆在办馆理念、核心体系上发生重大改变,图书馆相关业务围绕着信息流(数据、网络、系统)和物质流(图书、用户、空间)展开,两种业务分别由不同部门负责。这样的业务体系下,信息流与物质流间进行单向或浅层次交互,用户、资源、服务相互割裂。因此,在当下图书馆的业务实践中,很难将用户、资源与服务结合,实现“你中有我,我中有你”的深度融合。

## 1.3 智慧图书馆

智慧图书馆指以数字化、网络化、智能化的信息技术为基础<sup>[12]</sup>,将此类信息技术应用于图书馆的建设、业务、服务过程中,以达到用户、资源、空间智能化的拓展和融合。智慧图书馆作为未来图书馆发展趋势,以互联、高效、便利为其建设宗旨,核心业务涉及资源、馆员、用户、空间、服务五个实体。在数字化环境下这五个实体间以技术手段进行交互、联系。虽然智慧图书馆概念已提出许久,但大多所谓“智慧图书馆”均停留在高级复合图书馆阶段,从本质上来说还未达到智慧水平,如在数字和实体图书馆之间仍存在明显边界,线上线下活动割裂,线上获得的数据无法合理应用于线下实践中,二者无法实现深度融合,图书馆未构成一个泛在的智慧化服务环境,尚停留在发展的不完全阶段。显然,这样的组织管理架构和业务设置不符合智能、高效的智慧图书馆的服务理念。因此,在向智慧图书馆转变的过程中,图书馆除了应在资源、服务、技术等方面及时做出调整规划,同时也应注意业务的融合和优化,实现物理数字、现实虚拟、线上线下的互联共通。

## 2 智慧图书馆业务融合的数字孪生框架

数字孪生理念是基于物理系统建模和分布式实施过程数据,在预生产阶段生成系统的权威数字设计<sup>[13]</sup>。因此,智慧图书馆可利用数字孪生理论解决其效率和边界问题,并利用相关技术打通实体与数据信息的隔阂,构造立体互联、全面感知、智慧服务<sup>[14]</sup>的图书馆智慧生态环境。将数字孪生相关理



论应用于智慧图书馆的业务管理具有一定的可操作性,智慧图书馆可通过数字孪生相关技术,复制图书馆的物理世界,关联数字世界和物理世界进行深度业务融合,形成真正智慧的数据和知识生态体系。智慧图书馆也可充分利用数字孪生理念,将物联网、人工智能、机器学习、软件分析与空间网络集成<sup>[11]</sup>,构建生动的、可随实体图书馆的变化而实时更新的数字仿真模型。此外,数字孪生具有的可视、预测、可分析、可理解和易连接的特性为智慧图书馆赋予了新的内涵和目标。在图书情报领域,数字孪生理论及其相关技术对智慧图书馆在数字人文、虚拟空间、馆藏资源数字化等方面的探索和实践具有巨大的现实意义和应用价值。

### 2.1 智慧图书馆数字孪生模式

根据数字孪生理论,可将智慧图书馆按其空间形态划分为三个部分(如图1)。实体空间指线下空间,主要由到馆用户(人),以及广泛存在于馆内的各类感知、操作、交互设备(机)和馆内的纸质资源、智能书架书桌等固定资产(物)组成。虚拟空间对应于图书馆的线上空间,是利用各类信息技术构建的线上虚拟平台,包含馆内已有的数字化知识资源和用于数据计算与空间实体仿真的模拟,可视为连接实体空间与对应实体业务之间的“中介”。智慧图书馆业务则是根据虚拟空间反馈的结果,进行业务上的调整和优化,并将结果作用于实体空间。可以说,三者间是相互继承、相互协同的关系。

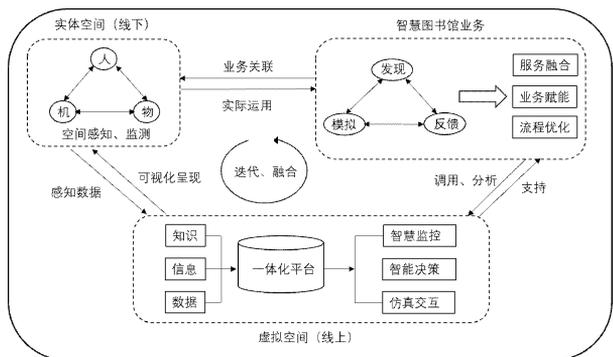


图1 智慧图书馆数字孪生模式图

依据上述空间划分,可将智慧图书馆的整体业务模式按照功能划分为感知、分析、模拟、实践四个阶段。感知阶段将空间中各实体的属性、特征、方法、行为等相关数据纳入整个业务体系采集的范围,有效利用传感设备、移动设备、操作设备等装置获取

用户和空间的各项数据,从用户进入图书馆就开始对应的感知和数据收集工作。分析和模拟两个阶段主要是在虚拟平台完成的中间过渡层,是数字孪生重要的支撑部分,对上一阶段输入的数据进行深入分析,一方面从数据中分析、挖掘出有价值的信息,进行空间和业务优化,另一方面基于接收到的数据构建仿真模拟空间,对空间主体进行轨迹、偏好、属性等多方面的模拟,或对业务流程实施映射,推演方案的可行性、评估能效,从而实现快速响应和个性化服务。实践阶段指对通过数字孪生仿真模拟的业务环节进行实际运用。这样的业务模式可以预先对馆内的决策、服务流程等方面进行科学评估,防止在规划、测试、验证上花费过多人财物力,以更低的成本、更快的速度、更优的结果推动智慧图书馆内各项措施落地。

### 2.2 智慧图书馆数字孪生架构

在明确智慧图书馆业务融合的数字孪生模式后,就可规划设计智慧图书馆的数字孪生架构。该架构主要包括规划实体图书馆与数字孪生理念结合的具体业务、技术与设计方案。依据数字孪生的技术体系以及图书馆业务指标划分,依次为用户体验层、孪生功能层、建模计算层和数据保障层<sup>[15]</sup>。每一功能业务层都是在下层的基础上加以完善,是对下层功能的进一步完善和扩展。智慧图书馆的数字孪生架构设计如图2所示。

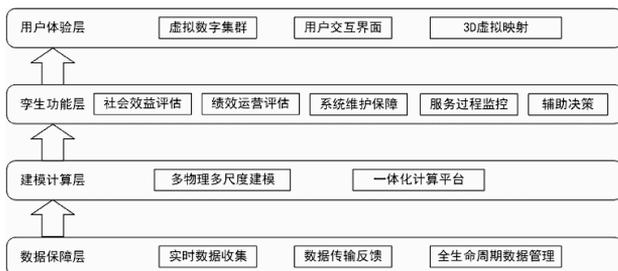


图2 智慧图书馆数字孪生架构设计图

数据保障层作为整个技术体系的基础,支撑着智慧图书馆实体和孪生体的上层体系运作,是开展后续功能业务的关键要素。它主要由实时数据收集、数据传输反馈以及全生命周期数据管理<sup>[16]</sup>三部分构成。数据的收集和传输主要依靠高精度传感器完成,大量分布在实体空间中的各类型高精度传感器构成了智慧图书馆数字孪生体的“感觉器官”,并通过分布式的传感器持续不断向孪生体提供所需的数据、信息、方法和算法的最新状态<sup>[17]</sup>。数据是数



字孪生体系运作的基础,不仅包含由传感器采集到的实体空间的数据,还包含数字化资源、用户等数据,这类隐藏的数据对整个体系的运行同样重要。

完成数据采集后,建模计算层是能够利用机器学习、深度学习等方式进行多物理尺度建模和一体化计算平台构建的保障。这一功能业务层承担了孪生体的建模和计算功能,是模拟、仿真技术的重要优化<sup>[18]</sup>。建模计算层的业务意义在于,它将成为跨越整个价值链的集成工程网络,以更智能的方式连接智慧图书馆的各个部门和各项业务,关联实体与虚拟空间,并为数据、知识产品、知识服务创造一个良性的图书馆生态系统。多物理尺度建模是在对采集到的数据进行概念解析和逻辑分析的基础上进行建模,通过测试调试使构建的模型能够准确、同步反映图书馆实体空间的一切变化。同时,在此基础上完成的一体化计算平台可以提供基于建模的一系列算法和技术支持,确保建模的精度与时效。

孪生功能层核心在于实时监控和全周期管理。相较于数据保障层和建模计算层,孪生功能层更侧重于为智慧图书馆的实际运营、使用、监控、维护等方面提供相应的功能支持,如社会效益评估、绩效运营评估、系统维护保障、服务过程监控、辅助决策,以满足图书馆的日常业务需要。在数字孪生体系运作下,孪生功能层不断记录目标图书馆的最新状态,并展开针对图书馆自身的功能评估,这样的机制能够较好地降低图书馆的决策失误、人力资源紧缺、系统维护困难等现实问题压力。此外,它还可确认不同的环境参数和用户行为对图书馆整体的运作、性能等产生的影响,从而控制图书馆的状态和行为,甚至能够根据实时数据预测图书馆的人流流向、容纳限度、设备故障等<sup>[19]</sup>。

用户体验层通过虚拟数字集群、用户交互界面、3D虚拟映射向图书馆用户提供可视化的人机交互环境,使用户获得沉浸式体验,在图书馆向导、参考咨询、技术体验等方面有着重要的意义。由于用户体验层是与用户直接接触的功能业务层,要尤其注重用户使用感和界面的友好设计。同时,该层也在不断累积用户的行为数据,可进一步分析用户偏好以及对某方面知识的诉求。

### 3 智慧图书馆业务融合的数字孪生规划

对数字孪生视阈下智慧图书馆业务融合的规

划,可从规划原则、规划策略、运行逻辑三部分分别论述。

#### 3.1 规划原则

根据智慧图书馆业务融合的数字孪生模式和架构,数字孪生相关理论技术具体应用于智慧图书馆业务实践中,需要遵循以下三个原则:

(1)能够映射真实的空间情况。根据系统论,图书馆主体是智慧图书馆业务融合研究的基本点,其包括用户及与系统相关的所有物质载体。因此,对真实空间的准确映射成为整个融合体系规划的重点,要求对实体空间的静态和动态内容进行完全映射。静态内容包括图书馆的纸质资源、电子资源、固定资产、区域分布、楼层设置等静态数据要素。动态内容则指包括用户行为、移动轨迹、能源消耗、资源增补、交互等实时动态数据流。数字孪生技术要求使用多维度展示方法,对实体空间进行可视化展现,使实时监控空间和服务成为业务优化的基础。

(2)以数据要素流为中心。数字孪生视角下的智慧图书馆是以数据驱动的,借助数据保障层和建模计算层来实现智慧图书馆业务融合,完成实体空间和虚拟空间的一体化和资源共通。这要求在智慧图书馆业务融合的规划中对孪生体有完整、全面的认知,进而依赖于数据的交互与反馈。数字孪生根据各类传感设备收集实体空间的信息,再通过终端设备以可视化的形式呈现出来,从而使数字孪生体系下的智慧图书馆实现业务融合。对于映射模型和业务服务来说,无论是静态数据要素还是实时动态的数据流,都可以为业务的整体体系以及相应人员提供信息参考和决策支持。

(3)空间优势推进业务整合优化。相较其他理论指导的智慧图书馆,数字孪生体系下的智慧图书馆在空间感知、空间变化、空间管理方面更具优势。它通过在实体空间配置传感设备以达到对空间的监控、管理功能,并将分析计算的结果传递给对应的接收设备,使智慧图书馆在智能感知、反馈、分析以及业务的辅助决策等方面有所提升。在此基础上进行业务整合的深度优化,可进一步加强薄弱空间领域的业务服务能力。也可借助数字孪生的认知机制和仿真推演的特性假设业务场景,在预判状态后进行业务体系的调整和迭代,与业务深度融合,将空间优势最大化。



### 3.2 规划策略

在当下图书馆的架构体系建设中,通常将实体图书馆的主要业务部门根据业务功能简化成六部分,分别为资源建设部、参考咨询部、网络运营部、信息应用部、读者服务部和办公室,包含了实体图书馆提供的大部分服务和管理内容。这些内容与智慧图书馆产生的虚拟、线上业务有所关联,但关联不深,存在明显割裂。根据数字孪生理念构建的智慧图书馆体系的核心思想是实现实体与虚拟空间数据的实时传输和交换,实现业务的深度融合,以更好地实现图书馆业务的智慧互联。考虑到目前图书馆部门设置和部门的功能定位有关,即与具体的业务开展相关,因此,可以依据现有图书馆业务的功能架构映射至智慧图书馆的数字孪生体系中,得到智慧图书馆业务整体框架。

数字孪生视阈下智慧图书馆业务功能整体框架如图3所示,实体图书馆的资源建设部对应于智慧图书馆的数据保障层,主要功能是基于传感器采集实体图书馆的各项数据支撑整个体系的运行,例如流量、定位、运维、能源消耗等数据;办公室现有的业务功能经扩展和延伸,与智慧图书馆的建模计算层对接,以实现数据的进一步加工,模拟仿真图书馆空间,映射物理实体运行周期全过程,实现数据的管理、监视、部署、分析等处理过程;参考咨询部、网络运营部、信息应用部经网络化形成孪生功能层,是整个体系的核心部分,提供评估、优化、分析、决策服务;读者服务部的可视化对应于用户体验层,用户通过可视化直观感受图书馆整体空间格局,进行各种创新体验。此外,实体图书馆利用传感器、物联网等技术收集用户流量、用户定位、能源消耗、空间占用

等数据,通过网络实时传输交换至数字孪生智慧图书馆。同时,数字孪生体系也将处理好的信息及时交互反馈给实体图书馆,以支撑其各种动态的可视化服务。整个数字孪生体系并非恒定的静态模型,而是一个会根据传感器接收到的数据,随着环境、行为、外部因素不断变化的动态模型<sup>[20]</sup>,是一个与智慧图书馆的发展相适应的有机生态体系。同时,数据的实时更新、信息的实时交互反馈也正是数字孪生思维下智慧图书馆业务融合的关键所在。

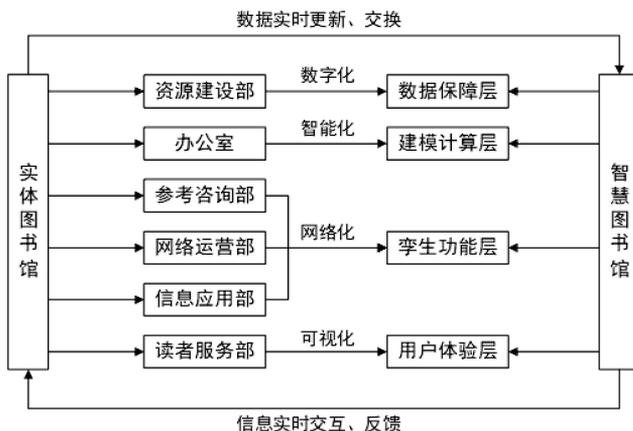


图3 智慧图书馆业务功能整体框架示意图

### 3.3 运行逻辑

根据微软 Azure 云服务所提供的成熟的数字孪生方案和实践案例,再结合智慧图书馆的现实需要,可以归纳出数字孪生视阈下智慧图书馆实际运行的三个场景,分别是以空间管理为主的管理场景、智能规划与科学评估为主的评估场景以及以人机交互为核心的服务场景,分别对应实体和虚拟空间中的建筑/空间、资源/数据、用户/知识,在整个体系的作用下平稳运行,具体如图4所示。



图4 智慧图书馆数字孪生运行逻辑图



(1)管理场景:图书馆的空间服务大多为线下服务,为用户提供实体空间的支持,因此可以物联网为平台、各种生物识别和传感器技术为基础,结合3D图像与BIM系统,真实映射数据,实现空间运维管理。以为用户提供舒适的学习、阅读环境为宗旨,将空间通过技术手段可视化、模块化、智能化,进行空间管理的一体化监控,将线下的空间管理业务与线上的BIM系统融合,提高空间运营的整体效率。通过建立数字孪生体系,在统一化的操作平台,对来自高精度传感器设备捕获的行为数据及流通管理方面产生的数据进行管理,将图书馆运行过程中涉及到的用户、实体、资源、活动、渠道等要素通过动态建模实现仿真映射,在此基础上再根据咨询服务、活动渠道等建立对应的业务模型,通过模型与数据的交互关联,构造智慧图书馆数字孪生管理模式。当智慧图书馆数字孪生体系感知到管理活动或用户行为发生改变,均会依据建立的映射模型与实体之间的关系快速感知变化场景,为用户或活动的下一环节提供联想方案,触发设定好的关联业务活动,以更好地从运营者角度审视图书馆业务模式及用户行为。

(2)评估场景:借助数字孪生体系,建立图书馆业务过程监控、效益评估一体化平台,从而实现智能规划与科学评估。利用物联网、人工智能、机器学习、软件分析与空间网络等数据测度、学习方式对图书馆的系统运行、馆舍现状、服务质量、决策结果进行评估和预测,实现辅助决策效果。例如,关于图书馆某一活动的策划与推行,可充分利用历史累积的数字资产,借助自动化、专业分析等技术,快速响应,进行各项系统的调配和设置,进行模拟和评估,规避错误及资源浪费。对智慧图书馆而言,用户既是服务对象,也是智能化转型中必须考虑到的关键因素。数字孪生将用户视作核心,对其在馆内的行为轨迹、行业属性、地域属性、行为偏好、阅读习惯进行动态监测,并将这些信息纳入考量模型、协同计算。同时馆员也可对用户的行为数据进行评估,预测行为旅程、推演偏好、评估业务等,以智能人机交互、移动端推送提醒、可视化呈现设备实现服务的快速响应和个性化服务,形成完整的图书馆数字孪生业务服务体系。数字孪生作为智慧图书馆的“心脏”,对实体空间和虚拟空间进行把控与调整,形成从空间到空间、业务向业务、空间向业务的数据归集、整合、调配机制,进一步感知馆内业务过程,将各项指标数据

化、可视化、具象化,更好地开展业务与空间的评估工作。

(3)服务场景:图书馆资源众多,虽资源建设的重点已转向数字资源,但其资源呈现形式仍有较大局限性,尤其是特藏图书和珍贵展览品通常仅能通过电子版或照片在网上进行阅览,难以反映资源在色彩、装帧、制版等方面的特色。因此,可借助数字孪生体系下智慧图书馆的智能设备,实现特藏和珍贵展览品的3D立体呈现,以及知识资源间关联的立体展现。相比线上资源的不可见和不可触摸,用户更倾向于多元的资源呈现方式,多元形式也将为智慧图书馆的发展带来新变化。此外,还可改进用户接入方式,通过多种方式识别用户身份,如借书卡、人脸识别、Wifi验证等。图书馆也可联合政府征信、微信或支付宝等APP对用户进行网络数据采集,进一步了解用户偏好,融合多系统完善用户画像。同时,需注意在个性化推荐时避免出现或减少信息回音室(Echo Chamber)和过滤气泡(Filter Bubble)的问题<sup>[21]</sup>。因此,图书馆还应在个性化推荐的基础上合理引导用户获取正确、多样的信息,塑造系统全面的知识服务。

#### 4 智慧图书馆业务融合的关键技术

通过以上研究发现,数字孪生理念为智慧图书馆业务融合提供了理论和技术上的支持,数据交互为核心的设计思想为智慧业务的融合和优化提供了持续保障,使图书馆整体在数据感知、计算、分析、处理上实现智慧化。目前,国内外关于数字孪生在图书馆中应用的相关研究较少,下文根据数字孪生在工业领域应用的案例,对其实施的关键技术进行分析,由宏观至微观层次主要包括以下四方面。

##### 4.1 敏捷高效的软件架构技术

数字孪生技术下的体系模式是对实体空间的全映射,对软件架构的要求高,同时这也是支撑整个智慧图书馆业务融合系统的基础。软件架构的构建和选择需要综合考虑模型、数据、空间、业务的真实需求。考虑到在感知层面要管理数以千计的传感设备,敏捷高效是数字孪生智慧图书馆整体架构的基本要求。基于此需求,可选择开放性好、兼容性强的架构,尤其是要将数据相关服务、接口标准制定纳入衡量的范围。因此,可选用在工业物联网具有应用前景的Serverless架构,该架构区别于传统的C/S



架构模式,是基于 FaaS(Function as a Service,函数即服务)架构形成多个相互独立的组件,并以 API 向外提供服务。在编写函数后直接部署,不用关心服务器后续操作。这种架构依附于第三方提供的云服务平台,具有低成本、快速计算、安全高效等特点,尤其是扩展性强的优势能兼容很多智慧图书馆已有的服务架构。Serverless 架构让图书馆无需过多考虑设备资源、服务器优化问题,能更好地将关注重心放在自身业务逻辑上。

#### 4.2 高效计算与处理技术

智慧图书馆数字孪生体系采用数据/模型的系统工程思想,其核心是数据与仿真模型。可运用高性能计算能力和全生命周期数据管理,结合挖掘技术、知识图谱等一系列辅助数据分析技术,完整实现整套评估业务。高性能的计算能力可依靠构建云计算基础架构分布式、并发处理数据<sup>[22]</sup>,以提供一个快速、高效、智能的数据分析处理平台。边缘计算的新型数据处理系统<sup>[23]</sup>和多源异构加速算法是未来发展的两大方向,可缓解云计算的能耗、计算负载的问题。而全生命周期数据管理是智慧图书馆数字孪生体系中重要的支撑环节。全生命周期数据在类型和数据量方面对服务器的分布架构、冗余存储、数据提取效率提出了更高的要求。目前已有多家云服务提供商,如国外亚马逊 AWS (Amazon Web Services) 云服务 IoT 平台使用的 Lambda,能够实现实时数据流处理,构建能更好地进行 IoT 设备数据遥测与分析的后端;国内中国移动 OneNET 提供 NB-IoT 和 MQTT 物联网套件架构服务,可为图书馆提供“终端—平台—应用”的整体解决方案。

#### 4.3 多维度空间仿真技术

数字孪生要求对实体空间的所有物体进行仿真模拟,这一过程需要动态更新、快速映射,主要运用到多尺度、多领域动态建模和数据精准采集和感知相关技术,其中建模的内容包括实体空间与虚拟空间的虚实映射配置建模和多维度复杂时空域下的数据建模<sup>[24]</sup>。多领域建模具体可分为机器建模(Machine Modelling)、虚拟传感器建模(Modelling of Virtual Sensors)、定义可更新的建模参数(Definition of Updatable Modelling Parameters)三部分<sup>[25]</sup>,和普通建模技术的不同在于,其注重发掘重要的业务领域概念,能够很好地反映业务领域概念之间的关系。这类技术要求用于采集数据的传感

器拥有绝对的高精度,以确保基于传感器的数据模型的实时更新。目前,传感器技术的精度和及时性受到环境条件和网络传输设备的限制,相信未来随着 IoT 等技术的应用发展,数据采集和传输的性能会有很大提升。通过读取高精度传感器或监控系统的各类事实数据,构建远程化的预测监控仿真模型,使用人工智能实现趋势预测,并基于结果进行业务调整和优化,减少因业务流程不合理而造成的用户粘性下降甚至流失。

#### 4.4 虚实结合的沉浸式交互技术

数字孪生依据不断累积的历史数据和全过程采集的实时数据实现孪生体与实体间的更新和映射,通过集成图形、音频和现实世界的实体对象,运用 3R、全息投影等交互技术实现可视化和数字孪生的交互,为数字孪生数据提供了直观和准确的可视化保障<sup>[26]</sup>。数字孪生与 3R 结合的应用框架可分为三个层面:实体空间层、虚拟空间层及 3R 应用层<sup>[27]</sup>,其中实体空间层主要是建立数字化的物理对象模型、执行模块和物联网体系,涉及到 RFID、智能仪表、无线网络等相关技术;虚拟空间层通过数字孪生体系的相关数据构建虚拟空间,为 3R 全功能、全流程交互应用提供基础支撑;3R 应用层主要实现应用交互,通过外围设备(移动显示器、数据手套、跟踪器、头盔、手环等)将虚拟三维模型投射到实体空间中,实现用户的交互体验,如 VR 通过音视频内容给用户带来沉浸式体验感,用户不需实地访问图书馆、图书馆线下活动场所,就能身临其境体验各类活动带来的丰富场景体验,AR 侧重于服务到馆用户,突出虚拟数字化信息与真实世界环境的无缝融合,在线下图书馆中体验虚拟信息个性化服务,如感观触碰的沉浸式交互可广泛应用于可视化馆藏查询、图书馆导览、沉浸式阅读、虚拟参考咨询、阅读辅助等业务领域,将图书馆的业务范围由馆内延伸至用户可能存在的任何地方,实现图书馆的智慧业务泛在化。

## 5 展望

数字孪生为延伸图书馆实体空间的功能性、泛在化提供了新的可能,通过数字孪生技术可以在虚拟空间中构建一个与实体图书馆互为镜像的虚拟智慧图书馆,对图书馆出现的任何情况,如业务流程、流量监控等各项运营活动进行监控和管理,可以在



一定程度上解决当下智慧图书馆存在的业务分割、线上线下活动割裂等问题。此外,智慧图书馆也可与3R技术结合,叠加虚拟现实维度,提供可视化展示与沉浸式功能体验,将图书馆的空间、知识、用户紧密结合起来。借助数字孪生技术,图书馆可在一定程度上提升其社会效益和影响力,进一步完善其社会公共文化服务体系,为智慧图书馆带来更多的机遇和可能。

## 参考文献

- 1 Tao F, Cheng J, Qi Q, et al. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018(2): 3563-3576.
- 2 Abdulmotaleb E S. Digital twins: the convergence of multimedia technologies[J]. IEEE MultiMedia, 2018, 25(2): 87-92.
- 3 Grieves M, Vickers J. Origins of the digital twin concept[EB/OL]. [2019-03-02]. [https://www.researchgate.net/publication/307509727\\_Origins\\_of\\_the\\_Digital\\_Twin\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept).
- 4 Främling K, Holmström J, Risku A, et al. Product agents for handling information about physical objects[EB/OL]. [2019-02-28]. [https://www.academia.edu/22462581/Product\\_agents\\_for\\_handling\\_information\\_about\\_physical\\_objects](https://www.academia.edu/22462581/Product_agents_for_handling_information_about_physical_objects).
- 5 Grieves M. Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises[J]. International Journal of Product Development, 2005(2): 71-84.
- 6 Githens G. Product lifecycle management: driving the next generation of lean thinking by Michael Grieves[J]. Journal of Product Innovation Management, 2007, 24(3): 278-280.
- 7 Gartner. Gartner's top 10 strategic technology trends for 2017[EB/OL]. [2019-04-25]. <https://www.gartner.com/smarter-withgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017>.
- 8 Uhlemann H J, Schock C, Lehmann C, et al. The digital twin: demonstrating the potential of real time data acquisition in production systems[J]. Procedia Manufacturing, 2017(9): 113-120.
- 9 周瑜,刘春成.雄安新区建设数字孪生城市的逻辑与创新[J].城市发展研究, 2018, 25(10): 60-67.
- 10 Oracle. Digital twins for IoT applications: a comprehensive approach to implementing IoT digital twins[EB/OL]. [2019-04-06]. <http://www.oracle.com/us/solutions/internetofthings/digital-twins-for-iot-apps-wp-3491953.pdf>.
- 11 Microsoft. Azure digital twins[EB/OL]. [2019-05-07]. <https://azure.microsoft.com/en-us/services/digital-twins/>.
- 12 王世伟.论智慧图书馆的三大特点[J].中国图书馆学报, 2012, 38(6): 22-28.
- 13 Zhang H, Liu Q, Chen X, et al. A digital twin-based approach for designing and multi-objective optimization of hollow glass production line[J]. IEEE Access, 2017(5): 26901-26911.
- 14 张海洋.智慧图书馆构建初探[J].图书馆研究, 2014, 44(2): 16-18.
- 15 刘大同,郭凯,王本宽,等.数字孪生技术综述与展望[J].仪器仪表学报, 2018, 39(11): 1-10.
- 16 Uhlemann H J, Lehmann C, Steinhilper R. The digital twin: realizing the cyber-physical production system for Industry 4.0[J]. Procedia CIRP, 2017, 61: 335-340.
- 17 Brenner B, Hummel V. Digital twin as enabler for an innovative digital shopfloor management system in the ESB logistics learning factory at Reutlingen University[J]. Procedia Manufacturing, 2017, 9: 198-205.
- 18 Rosen R, Wichert G V, Lo G, et al. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing[J]. IFAC Papers Online, 2015, 48(3): 567-572.
- 19 Qi Q, Tao F. Digital twin and big data towards smart manufacturing and Industry 4.0: 360 degree comparison[J]. IEEE Access, 2018, 6: 3585-3593.
- 20 Benjamin S, Nabil A, Luc M, et al. Shaping the digital twin for design and production engineering[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2017(66): 141-144.
- 21 Auxier B E, Vitak J. Factors motivating customization and echo chamber creation within digital news environments[J]. Social Media & Society, 2019, 5(2): 1-13.
- 22 柳益君,何胜,冯新翎,等.大数据挖掘在高校图书馆个性化服务中应用研究[J].图书馆工作与研究, 2017(5): 23-29.
- 23 王少强,王宇.基于边缘计算的新型数据处理系统[J].计算机与现代化, 2019(7): 15-19, 87.
- 24 丁凯,张旭东,周光辉,等.基于数字孪生的多维多尺度智能制造空间及其建模方法[J].计算机集成制造系统, 2019, 25(6): 1491-1504.
- 25 Aivaliotis P, Georgoulas K, Arkouli Z, et al. Methodology for enabling digital twin using advanced physics-based modelling in predictive maintenance[J]. Procedia CIRP, 2019, 81: 417-422.
- 26 Zhu Z X, Liu C, Xu X. Visualisation of the digital twin data in manufacturing by using Augmented Reality[J]. Procedia CIRP, 2019, 81: 898-903.
- 27 Ke S Q, Xiang F, Zhang Z, et al. A enhanced interaction framework based on VR, AR and MR in digital twin[J]. Procedia CIRP, 2019, 83: 753-758.

作者单位:许鑫,华东师范大学经济与管理学部、华东师范大学调查与数据中心,上海,200241  
 兰昕蕾,华东师范大学经济与管理学部,上海,200062  
 邓璐芴,华东师范大学调查与数据中心,上海,200241

收稿日期:2020年3月16日

修回日期:2021年12月13日

(责任编辑:支娟)

(转第35页)