高校数字孪生校园平台设计与建设实践*

——以华中科技大学为例

王士贤[1]　文坤梅[2][通讯作者]　李俊峰[3]　吴　驰[2]　郑競力[3]

（1．华中科技大学 软件学院，湖北武汉 430074；
2．华中科技大学 网络与信息化办公室，湖北武汉 430074；
3．华中科技大学 网络与计算中心，湖北武汉 430074）

摘要：信息技术的快速发展，推动了高校数字孪生校园的建设。在数字化转型的迫切需求下，亟待研发高校数字孪生校园平台，以更好地支撑教学、科研、管理、生活等服务。基于此，文章首先梳理了数字孪生校园与智慧校园的关系，指出研发高校数字孪生校园平台的重要性和必要性。之后，文章以数字孪生校园模型为底层逻辑基础，设计了由基础设施层、支撑层、数据层、平台层、数字孪生服务层、展示交互层六层组成的高校数字孪生校园平台架构。最后，文章介绍了华中科技大学数字孪生校园平台的建设实践，指出该平台将“一张图”作为数字孪生底座，实现了数据驱动下的校园数据全景可视化展示和动态智能化管理，能有效提升校园的治理能力和服务水平。文章提出的平台架构设计及其实践，探索了建设高校数字孪生校园的可行路径，有利于促进数字孪生技术在智慧校园建设中的应用落地，并可为高校建设数字孪生校园提供参考。

关键词：数字孪生；智慧校园；校园平台；智能化管理

【中图分类号】G40-057【文献标识码】A【论文编号】1009—8097（2023）11—0118—09【DOI】10.3969/j.issn.1009-8097.2023.11.012

“数字孪生”的概念来自于数字化制造行业，是指贯穿于产品规划、设计、制造、优化全生命周期的数字化仿真[1]。Grieves[2]提出数字孪生是一种三维模型，即物理实体、虚拟实体以及两者之间的连接。陶飞等[3]对此三维模型进行了拓展，增加了孪生数据和服务两个维度，并在此基础上提出了数字孪生技术的五维结构模型。2020年，《数字孪生应用白皮书》发布[4]，梳理了数字孪生技术和产业的应用发展情况，分析了数字孪生技术的热点、行业动态和未来趋势。2022年，《城市数字孪生标准化白皮书》发布[5]，提出了城市数字孪生标准化路线图，推动了数字孪生技术和产业应用的创新发展。当前，将数字孪生技术融入智慧校园的应用研究，主要集中于利用数字孪生技术构建智慧学习空间，促进教学模式变革。例如，李海峰等[6][7]基于美国、瑞士和芬兰数字孪生教育应用的案例分析，从理论基础、学习环境、学习活动等维度探究了数字孪生教育应用的教学模式；Morris[8]通过“元宇宙中的莫尔豪斯学院”项目创建了数字孪生校园，使学生能借助设备在虚拟现实环境中学习，评价结果显示学生的课程表现明显优于传统课程。随着智慧校园的不断发展，将数字孪生技术全面应用于智慧校园建设，形成虚实协同、迭代优化的高度智能化校园发展新形态将成为现实。

一 从智慧校园到数字孪生校园

1 智慧校园

当前，高校正逐步进入以人工智能、大数据等新技术为支撑的智慧校园建设阶段，研究者也纷纷开展了智慧校园模型构建和智慧校园建设的相关探讨。例如，蒋东兴等[9]提出了高校智慧校园技术参考模型，并设计了高校智慧校园的成熟度模型及其评价指标体系；李易俞等[10]对比

分析了国内外智慧校园的研究热点和发展趋势，提出要学习、借鉴国外智慧城市与智慧校园相互促进的发展经验；而杨萍等[11]分析了智慧校园建设的管理和评价现状。总的来看，高校智慧校园建设存在发展不平衡的现象，新技术在智慧校园建设中的深度融合应用仍然是提升智慧化水平的关键途径。

2 数字孪生校园

当前，将数字孪生技术应用于教育和管理已取得了初步成效。例如，杨佳丽等[12]基于建筑信息模型（Building Information Model，BIM）构建了高校校园实体模型，可以智能感知校园的关键要素行为，实现对高校校园公共安全风险的识别、预警与管控；褚乐阳等[13]提出了数字孪生在教育领域的主要应用，包括用于建设绿色校园、赋能职业教育、推动教育公平等；沈富可[14]提出数字孪生可以作为一种新技术手段被引入教育实践，来探索适合高校自身发展的融合路径，并在其中发挥“适当”助力的作用。将数字孪生技术融入智慧校园建设，有效提升了高校教学和管理服务的智能化水平。

当前，研究者尚未就数字孪生校园的定义达成共识。结合数字孪生技术和智慧校园的相关研究成果，本研究对数字孪生校园的定义如下：数字孪生校园是指运用物联网、大数据、人工智能、虚拟现实等信息技术，完整实现实体校园在虚拟世界的数字化表达，为实体校园的运行管理提供全场景式、沉浸式、交互式体验，并实时串联物理空间数据与虚拟空间数据，形成紧密闭环的校园智能生态系统，实现智能分析与决策。

3 数字孪生校园与智慧校园的关系

高校信息化已经历从电子校园、网络校园、数字校园到智慧校园的发展阶段。数字孪生校园是智慧校园的一种形态，是新型智慧校园建设的新方向。建设数字孪生校园对数据治理水平提出了更高要求，而数据的实时性、应用的综合性和决策分析的智能性，使数字孪生校园在实现技术、数据应用、全场景等方面已具有比传统智慧校园更多的优势，两者的对比如表 1 所示。

表 1　数字孪生校园与传统智慧校园的对比

对比维度	传统智慧校园	数字孪生校园
实现技术	传统信息技术	数字孪生、物联网、大数据、虚拟现实等现代信息技术
数据应用	数据应用局限于单个业务域	数据驱动治理，实现全域数据的融合贯通与综合应用
全场景	不能提供全场景展示	提供全场景可视化
交互性	对交互性要求低	对交互性要求高
实时性	对数据实时性要求低	对数据实时性要求高
智能性	基本的数据统计与分析	全域视角下的智能分析与决策

建设高校数字孪生校园，其本质是探索一种以数据驱动治理为特征的校园智能化运行新模式，实现对大学校园运行的实时监测、运维管理、决策分析和智能优化，提升校园服务的质量和效率，促进校园管理的流程再造和评价改革，实现全域视角下校园管理的科学决策。而数字孪生技术为智慧校园建设提供了新方向，其提供的实时交互、虚实共生等功能促进了教育教学线上、线下全过程的深度融合，为学生创造了更逼真的学习环境，也带来了更真实的学习体验，故有效提升了教育教学质量。

数字孪生技术已在教学实践中进行了应用，而本研究重点探讨的是数字孪生技术在校园管

理场景中的应用。目前，高校数字孪生校园服务基本处于起步阶段，在数字化转型的迫切需求下，亟待研发高校数字孪生校园平台，推进数字孪生技术在智慧校园建设中的应用。基于此，本研究通过梳理数字孪生校园的运行逻辑，结合校园特点，抽象出数字孪生校园模型，以此为基础设计高校数字孪生校园平台架构，并在华中科技大学数字孪生校园建设中进行实践探索。

二 高校数字孪生校园平台设计

建设数字孪生校园平台，是利用数字孪生技术，创建校园物理实体的虚拟映射。其中，数字孪生校园模型是指导数字孪生校园平台设计的底层逻辑基础。

1 数字孪生校园模型

参考《城市数字孪生标准化白皮书（2022 版）》，本研究首先梳理了数字孪生校园的运行逻辑，如图 1 所示。数字孪生校园可分为三个部分，分别是物理校园、虚拟校园和虚实之间的连接。其中，物理校园包含师生所在的物理空间和社会空间，虚拟校园是校园物理实体在数字空间的映射；而虚实之间的连接包括由实到虚的物联感知数据传递，以及由虚到实的控制指令执行。以虚拟校园建立的全域数据和算法模型为基础，通过校园物理、社会、数字三个空间在时空维度的映射、联接和反馈，实现对校园实体的全生命周期管理、协同交互和迭代进化。

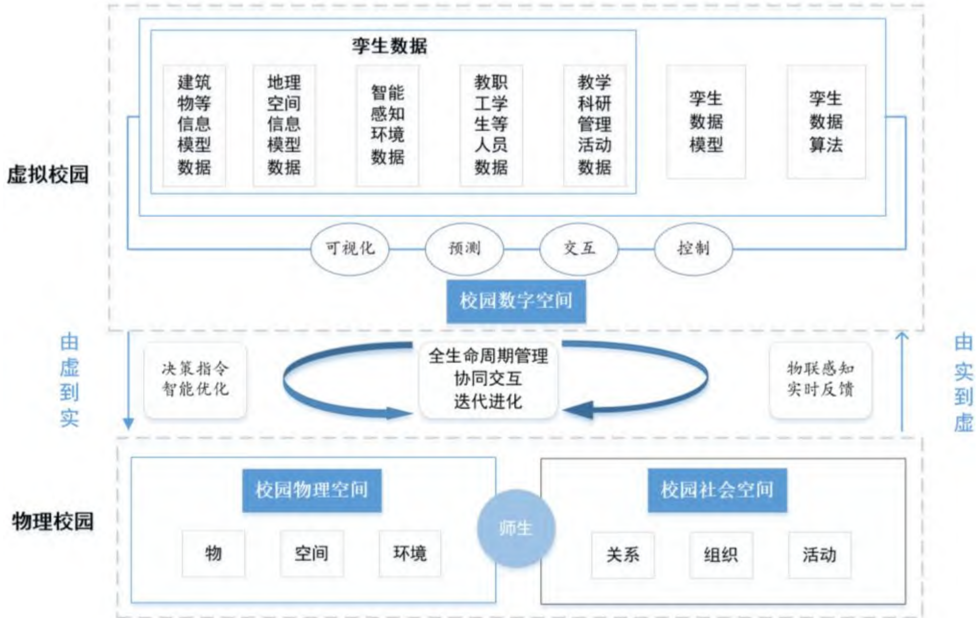

图 1　数字孪生校园的运行逻辑

之后，以数字孪生校园的运行逻辑为基础，参考 Grieves[15]提出的数字孪生三维模型，即物理实体、虚拟实体和虚实之间的连接，结合校园师生的实际需求及其主要活动特征，本研究提出数字孪生校园三维模型，如公式（1）所示。其中，E（Entity）表示校园实体，PE 表示物理实体，VE 表示虚拟实体，C 表示两者之间的连接；而 M 是通用的模型框架，适用于所有数字孪生校园建模，高校可以根据本校的实际情况对模型进行扩展和细化。

$$M=（PE, VE, C）\qquad 公式（1）$$

校园实体 E 可以分为三个子类，分别是：①校园人/物。校园人包括师生、管理者和其他相关人员等，在学校发展和治理过程中构成不同的组织，形成多维层次关系。校园物是除校园人之外各实体的总称，包含校园的建筑物（如教学楼、图书馆等），构筑物（如校区道路、停车场等），教学设施，能源设施（如水、电等），信息基础设施（如物联感知、通信网络等），交通监控设施，消防设施等。此外，还包括必要的校园环境如土壤、植被等实体。②校园空间，是指校园各实体和实体之间的地理、时间、空间等信息。③校园活动，分为教学活动、科研活动、管理服务活动、学生活动等类别。

校园实体的三个子类可以继续细分，如校园活动子类中的学生活动可进一步细分为学习活动、创新活动、创业活动等。物理校园中的各类物理实体 PE 在虚拟校园中有对应的虚拟实体 VE，VE 包含实体的物理模型、面向对象模型、行为模型、规则模型等。根据不同的物理对象和孪生需求，需选择合适的建模方法对虚拟实体 VE 建模。C 实现 PE 和 VE 之间的互联互通，通过对物理实体 PE 的实时数据采集、分析、建模和反馈，实现所有校园实体的真实状态都能实时同步映射到虚拟校园的理想状态，使校园管理者通过对虚拟实体 VE 的操控，即可实现对物理实体 PE 的智能化管理。

图 2 高校数字孪生校园平台架构

2 高校数字孪生校园平台架构

以数字孪生校园模型为底层逻辑基础，本研究设计了高校数字孪生校园平台架构，如图 2 所示。具体来说，数字孪生校园平台由基础设施层、支撑层、数据层、平台层、数字孪生服务层、展示交互层六层组成。其中，数据层是实现数字孪生校园模型中各类实体建模的数据基础，通过数据层和数字孪生服务层之间的数据交换，以及数字孪生服务层、展示交互层和基础设施层中孪生感知之间的数据交换，实现模型中虚拟实体和物理实体之间的连接。

①基础设施层：实现对物理校园的全面感知和实时监测，包括孪生感知和通信网络。其中，孪生感知是实现虚实之间感知互联的基础，通过各种环境感知、智能终端等设备和技术，实现数字校园与物理校园之间的动态数据交互。通信网络是指通过 5G、全光网等技术构建一张能支撑孪生服务的校园高速网。

②支撑层：提供网络资源、计算资源、存储资源和超算资源，为孪生服务提供基本支撑（特别是算力支撑），为海量数据交互、智能分析算法的应用提供保障。

③数据层：汇集各类静态数据和动态实时数据，包含基础数据、业务数据、校园人/物数据、校园空间数据、校园活动数据和其他数据，通过数据采集、数据传输、数据治理等实现校园数据的全生命周期管理。

④平台层：是数据共享与交换的载体，可分为公共平台、教学平台、科研管理平台和其他业务类平台，基础数据和业务数据在平台中产生和流转。

⑤数字孪生层：包括建模分析和孪生服务。其中，建模分析是从数据层中获取相关数据，然后进行数据统计和数据分析，在此基础上对校园人/物、空间、活动等校园物理实体及其之间的关系进行建模，通过人工智能算法实现数字孪生校园的迭代和优化；而孪生服务是基于建模分析的结果，提供各类校园智能应用服务，包括校园运行监测、智能运维、预测预警、校园管理、决策支持等数字孪生服务。

⑥展示交互层：通过数字孪生校园统一操控平台，对校园各类实体进行高仿真实时展示。统一操控平台应具有全景视角下的展现能力，利用可视化、BIM、增强现实（Augmented Reality，AR）、虚拟现实（Virtual Reality，VR）等技术，实现校园全景可视化、校园人/物可视化、校园空间可视化和校园活动可视化；同时接收用户控制指令和反馈信号，实现对实体校园的交互控制和智能优化管理。

三 华中科技大学数字孪生校园平台的建设实践

依托高校数字孪生校园平台架构，华中科技大学以本校“十四五”信息化发展规划为指导，结合本校智慧校园建设的实际情况，探索构建了华中科技大学数字孪生校园平台，如图 3 所示。2021 年 11 月，华中科技大学启动建设数字孪生校园平台，2023 年 4 月正式上线运行。基于学校“数据一个库”和“一张表”数据治理的全域贯通，华中科技大学数字孪生校园平台将学校“一张图”作为数字孪生底座，实现了数据驱动下的校园全景可视化展示和动态智能化管理，初步实现了校园运行监测、教学管理等数字孪生应用服务。

1 孪生数据

孪生数据是数字孪生校园平台建设的核心基础。为此，华中科技大学推出了“十个一”工程：全校一张网、基础一平台、网站一个群、数据一个库、集成一总线、上网一个号、信息一个站、消息一通道、校园一张卡、办事一张表。近年来，华中科技大学通过有效的数据治理，

特别是本校“数据一个库”的建设，实现了多元异构数据在人/物、空间、活动三个维度的精准映射。其中，“办事一张表”工程实现了教师基本信息、教学、科研、论文、人事、公益六个方面数据的自动汇总，共得到 80 余个数据子集、近 3000 个字段。

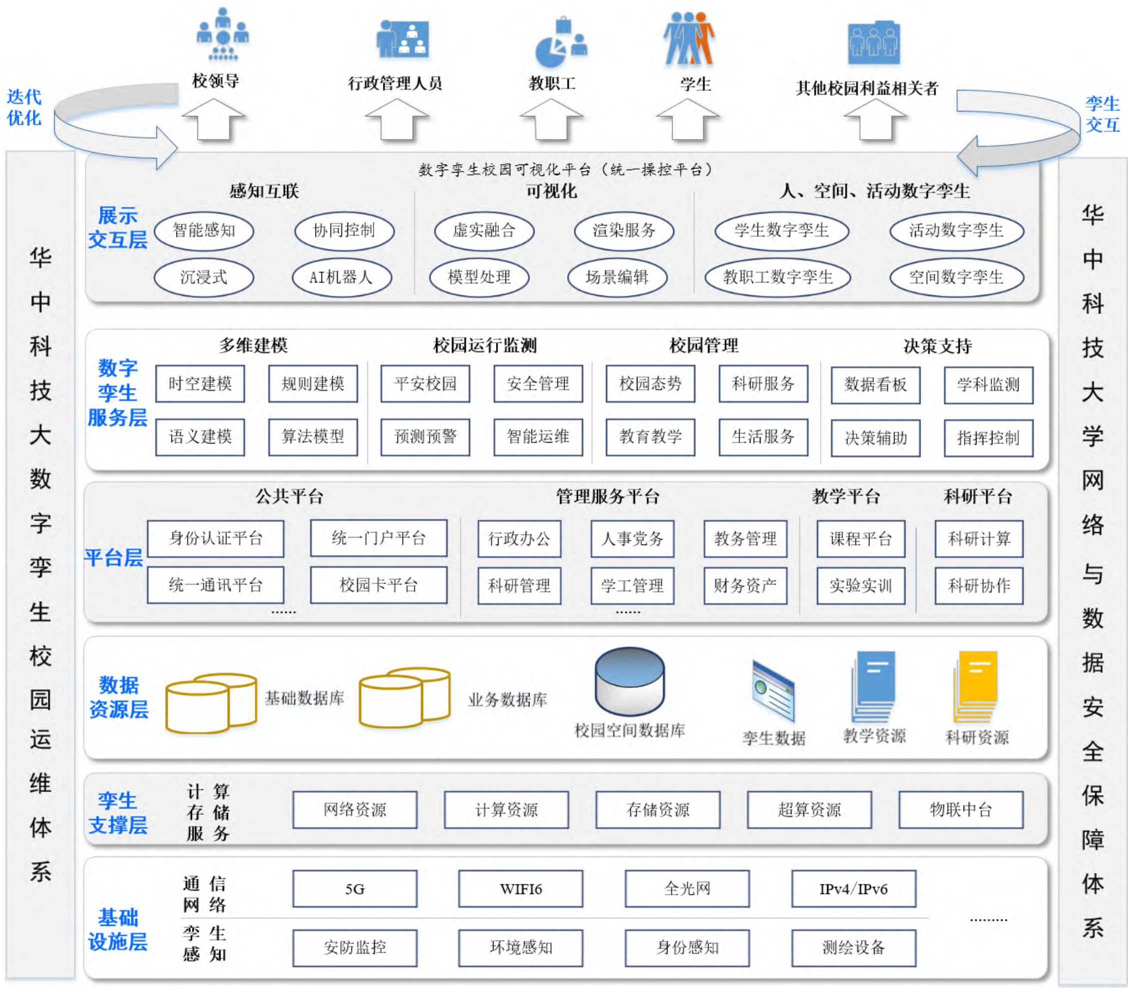

图 3　华中科技大学数字孪生校园平台

图 4　数字孪生校园整体运行界面

2 数据驱动下的全景可视化

华中科技大学将“一张图”作为数字孪生底座，将地理信息系统（Geographic Information System，GIS）作为基础工作平台，建设了校园物理空间的虚拟环境。“一张图”平台采集了华中科技大学总面积超过 7000 亩的校园景观纹理，完成了全校 756 栋建筑物、5 万余个房间信息的梳理入库，部分实现了 3D 建模和渲染，并完成了其中 346 栋教学办公建筑物、共 1639 个楼层的平面图信息梳理，实现了校园基础空间信息的规范化处理。同时，华中科技大学将校园人/物、活动等各类孪生数据与“一张图”对接，实现了校园内空间位置数据与业务数据的关联，目前管理图层已达 98 个，管理要素超过 7.8 万个。在此基础上，华中科技大学将腾讯公司 RayData 作为建模平台，实现了数据驱动下的校园全景可视化，整体运行界面如图 4 所示。

3 动态智能化管理

华中科技大学数字孪生校园平台的建设，实现了对校园运行监测和教育教学的动态智能化管理，提供包括校园概况、平安校园、今日教学、信息网络、办事服务等数字孪生应用服务，有效提升了学校的智能化管理和服务水平。

①全校概况：将高校作为完整的数字孪生体，从整体展示校园各方面情况，包括学科建设、教育教学、科学研究、人事人才、学生学情等，并可进一步细化到各教研机构，同时支持实时展示校情。为校园管理者展示整个校园发展态势，并提供有效数据支持，有助于管理者做出正确决策。

②平安校园：实时监控校园的安全治理情况，根据学校各大门实时车流量数据，及时为进出校园的教职员工发送门区拥堵消息，以有效缓解高峰时期校园拥堵情况，减少教职工平均出行耗时；实时监控学校各门禁系统的人员进出信息，为保卫部门提供异常人员进出校园预警；同时，接入防火监控系统，实时自动识别、分析火情，并自动跟踪、锁定火点位置，以有效降低火灾风险，具体如图 5 所示。

图 5　数字孪生服务之“平安校园”

③今日教学：实时监控教育教学情况，包括今日课程、教室使用、教师授课、学生上课等情况；可分层查看公共教学大楼的楼内布局，实现远程听课、巡课等功能，有效提升了教学资源利用率和教学质量，具体如图 6 所示。同时，提供师生画像服务，利用大数据分析结果对师生的教与学情况进行预判、预警；提供自动帮扶、个性化推荐等智能服务，有助于打造更高效且人性化的校园环境。

此外，华中科技大学数字孪生校园平台还以全校公共信息服务平台为基础，从网络运行、

服务器设备、应用情况三个方面对当前校园信息网络态势进行感知，实现了对信息网络的态势感知和对学校办事服务的实时监控。而准确掌握信息网络态势，是未来实现智能运维的基础。

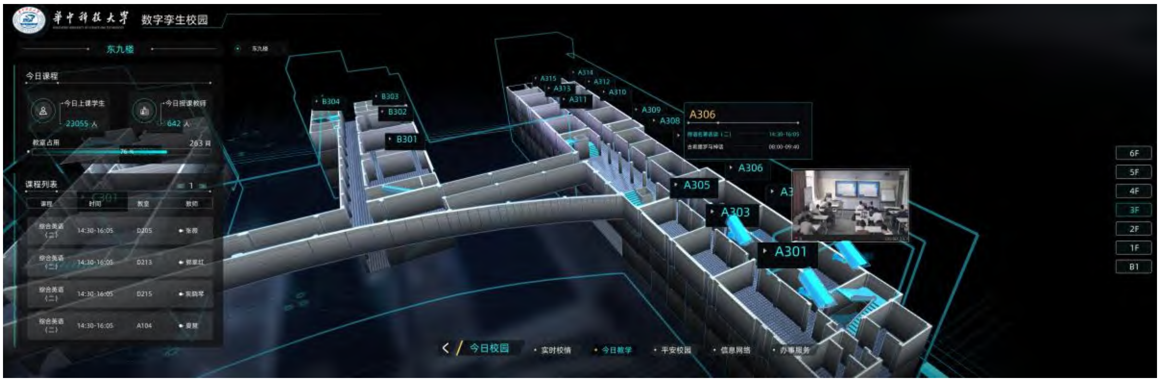

图 6　数字孪生服务之“今日教学”

四 结语

本研究以数字孪生三维模型为底层逻辑基础，设计了高校数字孪生校园平台架构，并介绍了华中科技大学数字孪生校园平台的建设实践。华中科技大学数字孪生校园平台实现了数据驱动下的校园全景可视化展示，并在校园运行监测、教学管理等方面进行了初步探索，其建设成效表明：数字孪生校园平台能有效提升校园的治理能力和服务水平。但是，数字孪生技术作为新兴的热门技术，目前尚缺乏统一的技术标准规范，平台架构也还有待在其实践应用的过程中不断完善，另外数据安全也是需要重点考虑的问题。展望未来，高校数字孪生校园建设将与教学科研进一步深度融合，以学校核心任务为指引，推动高校数字孪生校园建设。

参考文献

[1]Michael W G. Product life cycle management: The new paradigm for enterprises[J]. International Journal of Product Development, 2005,(1-2):71-84.

[2]Grieves M. Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication[J]. White Paper, 2014,(1):1-7.

[3]陶飞,刘蔚然,张萌,等.数字孪生五维模型及十大领域应用[J].计算机集成制造系统,2019,(1):1-18.

[4]中国电子技术标准化研究院,树根互联技术有限公司.数字孪生应用白皮书(2020 版)[OL]. <http://www.cesi.cn/images/editor/20201118/20201118163619265.pdf>

[5]全国信标委智慧城市标准工作组.城市数字孪生标准化白皮书(2022 版)[OL]. <http://www.cesi.cn/images/editor/20220110/20220110150222535001.rar>

[6]李海峰,王炜.数字孪生教育应用的教学模式探究——基于美国,瑞士和芬兰数字孪生教育应用的案例分析[J].现代教育技术,2021,(7):12-20.

[7]李海峰,王炜.数字孪生智慧学习空间:内涵、模型及策略[J].现代远程教育研究,2021,(3):73-80、90.

[8](美)穆希纳 ·莫里斯.蔡榕臻,陆佳钰,编译.元宇宙赋能的高等教育转型:来自美国莫尔豪斯学院的实践[J].世界教育信息,2022,(6):72-75.

[9]蒋东兴,付小龙,袁芳,等.高校智慧校园技术参考模型设计[J].中国电化教育,2016,(9):108-114.

[10]李易俞,陈金华.国内外智慧校园研究热点、发展趋势与异同比较[J].现代教育技术,2020,(3):88-94.
[11]杨萍,姚宇翔,史贝贝,等.智慧校园建设研究综述[J].现代教育技术,2019,(1):18-24.
[12]杨佳丽.融合数字孪生模型的高校校园公共安全风险管控研究[J].现代信息科技,2022,(2):128-130.
[13]褚乐阳,陈卫东,谭悦,等.虚实共生:数字孪生(DT)技术及其教育应用前瞻——兼论泛在智慧学习空间的重构[J].远程教育杂志,2019,(5):3-12.
[14]沈富可.打造高校数字孪生,需要廉颇也需要蔺相如[J].中国教育网络,2020,(8):35-37.
[15]Grieves M, Vickers J. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems[A]. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems[C]. Cham: Springer, 2017:85-113.

Design and Construction Practice of the Digital Twin Campus Platform in Universities

——Taking Huazhong University of Science and Technology as an Example

WANG Shi-Xian[1] WEN Kun-Mei[2][Corresponding Author] LI Jun-Feng[3] WU Chi[2] ZHENG Jing-Li[3]

(1. School of Software, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei, China 430074;
2. Network and Informatization Office, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei, China 430074;
3. Network and Computation Center, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei, China 430074)

Abstract: The rapid development of information technology has promoted the construction of digital twin campus in universities. In the great need of digital transformation, it is urgent to develop the digital twin campus platform in universities to better support services such as teaching, scientific research, management, and daily life. Based on this, the paper firstly sorted out the relationship between digital twin campus and smart campus, and pointed out the importance and necessity of developing the digital twin campus platform in universities. Afterwards, taking the digital twin campus model as the underlying logical foundation, the platform architecture of digital twin campus in universities was designed, which consisted of six layers of infrastructure layer, support layer, data layer, platform layer, digital twin service layer, and display interaction layer. Finally, the construction practice of the digital twin campus platform of Huazhong University of Science and Technology was introduced, which pointed out that the platform used “one image” as the digital twin base, achieving data-driven panoramic visualization display and dynamic intelligent management of campus data, and effectively improving the governance capacity and service level of the campus. The platform architecture design and its practice proposed in this paper explored feasible paths for the construction of the digital twin campus in universities, which was conducive to promoting the application of digital twin technology in the construction of smart campus and providing reference for the construction of the digital twin campus in universities.

Keywords: digital twin; smart campus; campus platform; intelligent management

---

*基金项目：本文为中国高等教育学会 2022 年专项课题“基于闭环的高校主动式网络安全管理机制与智能化技术防范体系研究”（项目编号：22XX0403）的阶段性研究成果。
作者简介：王士贤，副研究员，博士，研究方向为网络安全和信息化，邮箱为 wangsx@hust.edu.cn。
收稿日期：2023 年 3 月 21 日

编辑：小米