

面向智慧城市治理的“数字孪生+AI”城乡规划 情景模拟教学改革研究

崔晶^{1,*}

1. 河北工程技术学院, 土木与建筑学院, 河北 石家庄 050000

摘要: 智慧城市治理的深入推进要求城乡规划人才具备数据驱动决策、复杂系统推演与跨学科协同能力。然而传统规划教学面临技术模块割裂、静态模型主导、理论与实操脱节等困境。本研究基于“数字孪生+人工智能”融合视角, 构建了以数字孪生为基底、AI 模拟为核心、治理决策为导向的情景模拟教学新范式。本文成果为应用型本科院校规划专业数字化转型提供了可复制、可推广的完整解决方案。

关键词: 数字孪生; 人工智能; 城乡规划教育; 教学改革

Research on Scenario Simulation Teaching Reform of Urban and Rural Planning Based on "Digital Twin + AI" for Smart City Governance

Cui Jing^{1,*}

1. Hebei University of Engineering and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract: The further advancement of smart city governance requires professionals in urban and rural planning to possess capabilities including data-driven decision-making, complex system deduction and interdisciplinary collaboration. Nevertheless, traditional planning teaching is confronted with dilemmas such as fragmented technical modules, predominance of static models, and disconnection between theories and practical operations. From the integrated perspective of "digital twin + artificial intelligence", this study constructs a new paradigm of scenario simulation teaching with digital twin as the foundation, AI simulation as the core, and governance decision-making as the orientation. The findings of this paper provide a replicable and promotable comprehensive solution for the digital transformation of planning majors in application-oriented universities.

Keywords: Digital Twin; Artificial Intelligence; Urban and Rural Planning Education; Teaching Reform

作为城市空间发展的顶层设计者, 当代城乡规划师不仅需要扎实的空间形态设计功底, 更应具备多源数据融合处理、复杂城市系统关联分析及公共政策干预预判等多维能力素养^{[1][2]}。面向智慧城市治理的迫切人才需求, 探索“数字孪生+AI”驱动的城乡规划情景模拟教学改革, 兼具重要的理论探索价值与现实应用紧迫性^[7]。本研究立足应用型人才培养定位, 提出并实施一种整合数字孪生基底、AI 模拟引擎与典型治理情景的规划教学新范式。下文将从理论框架设计、平台构建、教学模式开发、实践成效分析等方面系统阐述研究过程与成果。

1 教学改革理论框架与体系设计

1.1“数字孪生+AI”情景模拟教学模型

本研究提出三层递进式教学模型(图1):第一层(数字孪生基底层)——基于开源GIS数据、OSM路网与遥感影像,利用Unity引擎构建包含地形、建筑、道路、绿地及公共服务设施的可交互虚拟城市环境^[3];第二层(AI模拟驱动层)——集成轻量化人工智能算法库,包括用地适宜性随机森林模型、基于智能体的城市活动模拟(ABM)、短时交通流预测LSTM模型以及公共服务设施可达性分析模块^[6];第三层(情景决策应用层)——创设典型城市治理情景,支持学生在虚拟环境中调整规划变量、观察模拟演化结果并做出综合决策。

值得说明的是,本轮教学改革试点安排在《规划设计3》与《城市设计》两门高年级核心设计课程中实施,属于上述体系中的“综合应用层”。参与试点的2022级与2023级学生此前已完成《智慧城市导论》《地理信息系统与空间数据基础》及《城市规划原理》等前序课程学习,具备基本的空间数据操作能力与城市系统认知素养,为在本阶段开展数字孪生情景模拟实训提供了必要的知识与技能铺垫。

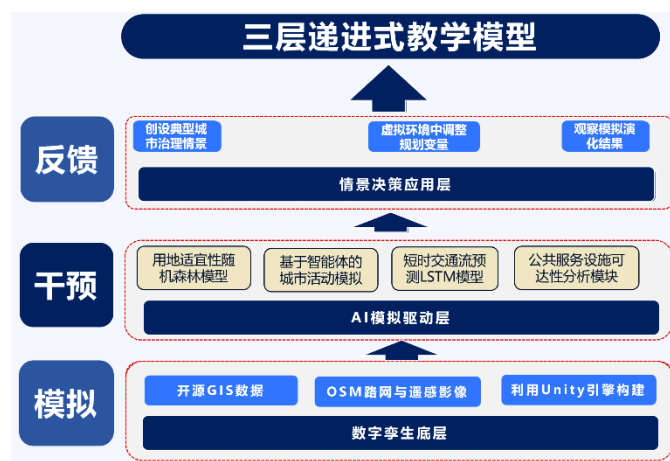


图1 三层递进式教学模型

Figure 1 Three-Tier Progressive Teaching Model

1.2 三层次课程内容体系重构

围绕模型构建,重组课程内容体系:

(1) 基础认知层,面向低年级,增设《智慧城市导论》《地理信息系统与空间数据基础》,培养学生数字城市认知与空间数据素养^[4];

(2) 技术掌握层,在《城市规划原理》《规划设计2》等课程中嵌入数字孪生基础操作、Python数据分析入门及AI模型基础^[5];

(3) 综合应用层,在《城市设计》《规划设计3》等核心设计课中以专题形式开展“数字孪生+AI情景模拟”实训,实现技术、空间与治理决策的深度融合^[2]。

2 教学级数字孪生平台构建与AI算法集成

2.1 轻量化数字孪生平台开发

遵循“教学适用性优先、降低技术门槛”原则,开发了“HEB-UALab”原型系统。平台基于Unity 2022 LTS,使用Mapbox及Cesium SDK加载基础地形与卫星影像,导入OpenStreetMap路网及建筑物轮廓,通过程序化生成方式构建约12km²的“教学虚拟城市”^[3]。平台封装了地形编辑、场景漫游、

方案导入、指标测算等交互模块，支持教师快速布置情景任务，学生可在图形化界面中修改用地性质、容积率、路网密度等参数，并一键调用 AI 分析工具。

2.2 核心 AI 模型嵌入与验证

针对城乡规划核心教学需求，集成或开发以下轻量级 AI 模型模块（表 1），所有模型均采用公开数据集预训练，并适配教学虚拟城市数据：

表 1 模型模块对应情况说明表
Table 1 Description of Correspondence Between Model Modules

模块名称	算法/技术	教学功能说明
用地适宜性 AI 评价	随机森林 + 多准则决策	基于自然、社会、经济因子（高程、坡度、距地铁站距离等）自动生成用地适宜性分级图
ABM 城市活动模拟	基于 Agent 建模 (Mesa 框架)	模拟居住-就业-休闲人口流动、商业设施吸引强度，评估职住平衡水平
交通流预测模块	LSTM 时序预测	根据路网容量与规划人口，预测高峰小时交通量和拥堵指数
设施可达性分析	改进两步移动搜索法 (2SFCA)	计算教育、医疗、公园等公共服务设施的覆盖率与公平性指数

经技术测试，在常规教学笔记本电脑（16G 内存，GTX 1650）上，单次用地评价计算耗时≤3 秒，ABM 万级 Agent 模拟 10 步迭代约 8 秒，满足课堂实时交互需求。

为兼顾不同基础学生的学习进度与认知规律，平台对各 AI 模块设置了"简易"与"进阶"两种操作模式。简易模式下，学生无需关注底层算法逻辑，仅通过图形化面板提交参数并获取可视化预测结果，以降低技术门槛、聚焦规划决策本身^[5]；进阶模式下，平台开放随机森林特征重要性排序、LSTM 损失曲线及 ABM 个体决策规则等中间结果查看权限，供学有余力的学生追溯模型推理过程。教师在实际教学中专设"模拟结果批判性分析"环节，引导学生对比 AI 输出与定性推论的异同，并讨论算法偏见与数据边界问题，防止技术依赖。

3 “情景-模拟-决策”教学模式与案例库开发

3.1 典型治理情景设计

面向智慧城市治理的核心议题，项目期内开发了三类共 6 个标准化教学情景包^[7]：

- （1）新城开发类：涵盖高铁新区产城融合规划、生态智慧小镇开发方案比选两个情景。该类情景侧重调用用地适宜性 AI 评价与 ABM 城市活动模拟模块，用于预测不同开发强度情景下的职住平衡水平与商业活力演变趋势^[2]。
- （2）存量更新类：涵盖老旧小区"微更新"决策、传统商圈活力重塑两个情景。该类情景侧重调用设施可达性分析与交通流预测模块，用以评估公共投资的空间覆盖公平性及周边路网承载力变化。
- （3）韧性治理类：涵盖基于内涝风险的排水系统改造、应对高温热浪的蓝绿空间优化两个情景。该类情景综合调用用地适宜性评价与 ABM 模拟模块，评估不同绿色基础设施布局方案对城市微气候与人群活动分布的影响^[6]。

每个情景均配套提供情景说明书、初始数据包、关键变量列表（如开发强度、公共投资额度、建筑退线等）及综合评估指标体系（涵盖经济效益、社会公平、碳排放、交通拥堵指数等多维指标）。

3.2 闭环教学流程设计

教学实施严格遵循“情景发布→模拟推演→多方案比较→决策汇报→复盘反思”五步闭环。以“CBD 数字孪生设计”专题为例：（1）教师发布情景“某高铁新城 CBD 3km²范围城市设计”，并提供

基础孪生场景；（2）学生小组在平台内调整容积率、建筑高度、公共空间布局等参数；（3）调用 AI 模块预测交通需求、商业活力及职住平衡指标^[1]；（4）形成 2-3 个比选方案，并基于模拟结果进行多目标权衡；（5）课堂汇报并由教师引导反思，强调规划伦理与技术局限性。教学过程中，学生需填写“决策日志”，记录模型参数调整依据与对 AI 预测结果的质疑分析，培养批判性思维^[5]。

3.3 教学案例库与配套资源建设

项目期内完成 1 套标准教学案例（含学生指导书、评估量规表、数据集及操作视频），并编制《城乡规划数字孪生实验指导书》，覆盖软件安装、数据预处理、模拟流程及报告模板。

4 教学实践与效果评估

4.1 实施方案与样本

选取 2022 级与 2023 级城乡规划专业共 4 个自然班参与试点，其中 2 个班级为实验组（n=63 人），采用“数字孪生+AI 情景模拟”教学模式；另 2 个班级为对照组（n=60 人），沿用传统“图纸+PPT+GIS 基础分析”教学模式。两组学生在前期专业课程成绩（前测基线）、性别比例等方面无显著差异。需说明的是，2022 级与 2023 级在本次试点之前所执行的培养方案中，前序基础课程（含《地理信息系统》《城市规划原理》等）的开设学期、教学内容与考核方式完全一致，确保了跨年级对照的可比性。改革依托课程为《规划设计 3》与《城市设计》，教学周期各 16 周，总学时分别为 64 学时与 32 学时。此外，通过问卷调查、学生深度访谈及设计方案横向盲审等方式，多维度采集过程性与结果性评价数据。

4.2 量化评估结果

利用李克特五点量表及期末设计成绩分析，主要结果如表 2 所示。实验组在“数据驱动决策能力”“系统思维与动态推演能力”“跨学科技术整合能力”维度的自评提升显著（ $p<0.01$ ）；课程设计方案成果中，实验组方案在交通组织合理性、公共服务设施布局效率及多目标权衡创新性方面平均得分较对照组高出 22.5%。期末综合成绩实验组均分为 86.3（对照组 79.5），优秀率（ ≥ 90 分）实验组为 31.7%，对照组为 13.3%。

表 2 能力指标前后数据对照表
Table 2 Comparison of Competency Indicators Before and After Implementation

能力指标	实验组均值 (前测/后测)	对照组均值 (前测/后测)	提升差值显著性
数据素养与 GIS 高阶应用	2.96 / 4.35	3.01 / 3.72	p=0.008
动态系统推演能力	2.75 / 4.48	2.80 / 3.45	p<0.001
规划方案创新性	3.25 / 4.42	3.22 / 3.90	p=0.012

此外，课程满意度调查显示，实验组 94.2% 的学生认为“数字孪生+AI 情景模拟”有助于理解规划复杂系统，92.1% 表示该模式提升了学习兴趣。典型学生反馈：“以前设计课只能看平面图猜效果，现在平台能直接看到人口流入和交通拥堵变化，决策更有依据。”

5 结论

主要结论如下：第一，本研究提出的“数字孪生为基、AI 模拟为核、治理决策为靶”的教学范式在实践中验证了其有效性，能够显著提升学生的数据素养、复杂系统思维与科学决策能力^[1-2]。第二，自行开发的轻量化教学平台与 AI 算法模块兼顾了教学适用性与技术前瞻性，具有良好的推广价值^[3, 6]。第三，形成的案例库及实施方案可为同类院校规划专业的数字化转型提供直接借鉴^[5, 7]。后续研究将进一步完善多情景联动的虚实融合教学体系，助力规划教育数字新基建。

参考文献

- [1] Batty M. Planning education in the digital age[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2021, 48(4): 593-597.
- [2] 吴志强, 甘惟, 刘朝晖, 李舒然, 周咪咪, 赵刚, 张修宁. AI 城市: 理论与模型架构[J]. *城市规划学刊*, 2022, (5): 17-23.
- [3] Biljecki F, Stoter J, Ledoux H, Zlatanova S, Çöltekin A. Applications of 3D city models: State of the art review[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2015, 4(4): 2842-2889.
- [4] 党安荣, 王飞飞, 曲葳, 韩雯雯, 田颖. 城市信息模型(CIM)赋能新型智慧城市发展综述[J]. *中国名城*, 2022, 36(1): 40-45.
- [5] 田莉, 杨鑫, 张雨迪, 林雨铭. “专业知识+人工智能”双驱动的城乡规划设计教育创新探索: 以住区规划为例[J]. *城市规划学刊*, 2024, (5): 71-78.
- [6] Crooks A T, Malleson N, Manley E, Heppenstall A. Agent-based modelling for urban analytics: State of the art and challenges[J]. *AI Communications*, 2022, 35 (5-6): 393-406.
- [7] 国家自然科学基金委员会. 智慧城市治理导向的城乡规划教育改革战略研究报告[R]. 北京: 科学出版社, 2023.

基金项目: 河北工程技术学院 2025 年度校级教育教学改革研究项目, 项目编号为: 2025HGJG26。

第 1 作者&通讯作者简介: 崔晶 (1982—), 女, 硕士研究生, 高级经济师, 研究方向: 城市更新、乡村振兴。E-mail: 13292800555@163.com。