

面向土木工程应用的人工智能与模式识别课程案例库构建研究

闫佳

东莞理工学院, 中国·广东 东莞 523808

摘要: 智能建造与数字土木快速发展, 人工智能与模式识别技术已广泛应用于土木工程各类场景, 传统课程教学存在理论与工程实践脱节、教学案例老旧匮乏等突出问题。本文系统梳理了人工智能在结构健康监测、工程图像识别、岩土灾害预测及智能建造领域的典型应用场景, 依托建构主义与情境学习理论确立案例库设计原则与层级架构, 分层开发算法验证型、工程驱动型、综合探究型三类教学案例, 并完成教学资源的标准化编制。研究成果可有效弥补交叉课程实践教学短板, 助力完善智能化土木教学体系, 为培养复合型工程创新人才提供理论支撑与实践参考。

关键词: 土木工程; 人工智能; 模式识别; 案例库构建; 教学改革

Research on the Construction of a Case Database for Artificial Intelligence and Pattern Recognition Courses in Civil Engineering Applications

Yan Jia

Dongguan University of Technology, China Guangdong Dongguan 523808

Abstract: With the rapid iterative development of intelligent construction and digital civil engineering, artificial intelligence and pattern recognition technologies have been widely applied in various civil engineering scenarios. Traditional curriculum teaching suffers from prominent issues such as the disconnect between theory and engineering practice, as well as outdated and insufficient teaching cases. This paper systematically reviews the typical application scenarios of artificial intelligence in structural health monitoring, engineering image recognition, geotechnical disaster prediction, and intelligent construction. Based on constructivism and situated learning theories, it establishes principles and hierarchical architecture for the design of a case library, develops three types of teaching cases—algorithm validation, engineering-driven, and comprehensive inquiry—layer by layer, and completes the standardized compilation of teaching resources. The research findings can effectively address the shortcomings in practical teaching for interdisciplinary courses, contribute to the improvement of an intelligent civil engineering teaching system, and provide theoretical support and practical references for cultivating interdisciplinary engineering innovators.

Keywords: Civil engineering; Artificial intelligence; Pattern recognition; Case base construction; Teaching reform

0 引言

智能建造与数字土木快速发展, 人工智能、模式识别技术已广泛应用于结构监测、病害检测、地质灾害预测等土木核心领域。当前相关课程普遍存在理论与工程实践脱节、教学案例老旧稀缺等问题。本文结合土木行业应用场景, 开展课程案例库体系构建、内容设计与标准化开发研究, 助力复合型智能土木人才培养。

1 土木工程领域人工智能与模式识别的典型应用场景

1.1 结构健康监测中的损伤识别与状态评估

结构健康监测是智能土木成熟度较高的技术方向。传统人工巡检与固定阈值监测方式, 难以捕捉结构早期微弱

损伤信号, 存在主观性强、预警滞后等短板。通过加速度、应变、光纤等传感设备采集结构动态响应数据, 结合模态辨识提取时频域特征, 依托智能算法实现异常信号甄别、损伤定位与程度研判, 可有效弥补传统监测的不足。该场景涵盖时序信号处理、特征降维、无监督异常检测等核心技术, 用到主成分分析、一类支持向量机、长短期记忆网络等算法。教学中可依托真实工程监测数据集, 搭建从数据预处理到损伤评估输出的完整实训链路, 适配综合性实践教学案例开发。

1.2 土木工程图像识别: 裂缝检测与病害分类

计算机视觉广泛应用于土木表观病害检测, 可精准识别裂缝、表层剥落、钢筋锈蚀、结构渗漏水等常见病害。

相较于人工目视排查,深度学习图像识别技术能规避人为判断误差,大幅提升规模化巡检效率。目前行业可通过轻量化目标检测网络结合三维地理信息工具,完成构件识别与工程进度统计;依托无人机成像设备与卷积神经网络,实现水利构筑物表面缺陷自动化判别。该场景图像样本易获取,可开展传统图像算子实验与深度学习模型训练,通过对比两类技术的应用效果,帮助学习者直观掌握不同技术路线的优劣,适合开发基础验证类教学案例。

1.3 岩土工程中的模式识别与地质灾害预测

岩土体系具有高度不确定性,滑坡等地质灾害预判,本质是多源信息挖掘下的分类与回归任务。当前边坡巡检技术融合卷积神经网络异常识别与三维语义重建技术,可实现隐患识别与病害维护优先级排序。针对地质灾害标签样本稀缺、数据不均衡的行业痛点,该技术可融合地质勘察文档、位移时序监测数据、降雨环境数据等多源异构信息优化模型。教学案例可围绕数据清洗、特征构建、不平衡样本优化、模型可解释性分析等核心任务设计,锻炼学生处理复杂岩土工程数据的综合能力。

1.4 机器学习驱动的工程性能预测与参数反演

机器学习为土木工程中难以解析建模的复杂问题,提供了高效的数据驱动解决方案。典型应用包括:基于实测与数值模拟数据训练代理模型,替代低效的有限元计算,实现结构响应秒级预测;依托物理信息神经网络融合力学控制方程与观测数据,完成稀疏数据条件下的岩土参数场反演;通过迁移学习实现小尺度试验知识向现场大尺度工况迁移,破解工程数据稀缺难题。该场景覆盖回归预测、代理建模、物理约束学习等核心内容,涉及高斯过程回归、各类神经网络等算法。教学可围绕力学参数反演、代理模型加速结构分析等课题开展实训,培养学生数据科学与工程力学结合的系统性思维。

2 课程案例库构建的理论基础与设计原则

2.1 案例库教学的理论基础:建构主义与情境学习理论

建构主义指出知识并非被动灌输所得,而是学习者依托特定情境主动完成认知建构。情境学习理论进一步强调知识与实践场景不可割裂,实践参与是能力生成的重要途径。针对土木与人工智能交叉课程,单纯讲授算法原理难以建立技术和工程问题的内在关联,案例库则搭建起理论通往工程实际的媒介。同时范例教学理论要求案例具备典型迁移价值,通过解析代表性工程样本,促使学习者类推解决同类工程难题。

2.2 案例库构建的核心设计原则

结合前述教育理论与土木学科特征,确立四项核心准则。专业性要求案例立足真实工程背景,可依托校企渠道获取原始素材,规避脱离工程逻辑的虚拟命题;层次性遵循认知发展规律,覆盖从算法实操到综合创新的不同训练层级;情境性需要配套工程图纸、现场资料等背景信息,还原工程决策的现实约束;开放性预留方案拓展空间,支持多路径求解并能够随技术迭代动态更新案例素材。

2.3 案例库的层次化架构与模块化设计

案例库采用三维标引、三级梯度、三大模块的组织架构。以应用场景、能力维度、认知难度作为案例分类标引依据;设置基础认知-进阶应用-高阶实践三级难度梯度;划分算法验证、工程驱动、综合探究三大递进模块。各模块既可以独立调开展针对性教学,也能够相互串联,完成由浅入深的完整实践训练。

3 人工智能与模式识别课程案例库的内容设计与案例开发

3.1 基础算法验证型案例设计与典型实例

选取“混凝土裂缝图像的边缘检测与分类”作为典型教学实例。教学素材包含两百张完成标注的混凝土表面图像,样本覆盖多样光照环境、宽窄差异化裂缝形态,同步配套像素级二值化标签文件。任务链条设置层层递进:第一,调用 Canny 边缘检测算子完成裂缝轮廓提取,对比高低阈值组合对边缘断裂、伪边缘噪声生成的影响,梳理阈值选取的权衡逻辑;第二,基于边缘输出结果完成几何特征提取,量化裂缝长度、张开宽度、覆盖面积、延展方向等人工设计特征;第三,依托提取得到的特征集合搭建支持向量机分类器,完成横向、纵向、网状三类裂缝形态的判别,利用混淆矩阵、F1 指标评估分类效果。案例设置拓展任务,对比传统手工特征工程方案与预训练 ResNet 深度模型的识别表现,梳理人工特征工程与数据驱动表示学习二者的内在差异,促使学习者感知传统机器学习与深度学习的范式区别。此类案例适用于课内实验训练,重点强化学习者对图像特征提取、统计分类算法的原理认知,不强调复杂工程背景,侧重于复现、调试、对比分析的实操训练。

3.2 工程问题驱动型案例设计与典型实例

以工程问题为驱动案例,是以求解真实工程问题作为导向的,与产业实际业务所存在的痛点相对标。原始的数据集保留了真实场景所存在的缺陷,包含数据缺失、采样频率不一致、异常噪声干扰等现实当中存在的问题,不会

提供已经预处理完毕的标准化素材。学习者需要自主地对业务诉求进行拆解,完成数据治理、技术路线规划、模型选型调优等工作,输出具有可解释性的工程化结论,以此训练工程研判能力,而并非单纯地追求模型指标达到最优。典型实例设置为“基于监测数据的大跨度桥梁异常预警”。案例背景源自斜拉桥结构健康监测业务,数据集包含六个月时长的加速度、应变、温度时序监测序列,存在多传感器采样频率错位、部分时段数据断档、环境扰动带来的冗余噪声。核心工程诉求是搭建异常预警机制,当结构产生非正常振动特征时触发告警提示。完整任务分为三个环节:一是开展多源时序数据预处理,完成时间轴对齐、缺失片段修补、异常噪声滤除,实现异构监测数据的规范化整合;二是结合业务场景选择无监督异常检测技术,可选用自编码器重构误差、单类支持向量机、统计过程控制等方案搭建检测框架;三是结合结构力学先验知识确定告警阈值,区分温度周期性波动引发的正常数值偏移和构件损伤诱发的结构性异常,赋予告警事件明确的工程语义解释。该案例的评价维度不局限于检测准确率,更加看重学习者对误报、漏报现象的溯源分析,以及输出结论能否满足工程技术人员的实际决策需求,引导学习者跳出纯算法指标的评价思维,建立工程优先的问题处理思路。

3.3 综合探究型案例设计与典型实例

综合探究类型的案例,是以完整系统的建构作为目标的,面向开放式的现实业务需求。需要对计算机视觉、三维重建、Web 开发等多个领域的知识进行融合,完整地走完问题界定、方案规划、模块开发、系统联调、效果验证等整个流程。一般采用小组协作的模式,以此锻炼系统架构思维以及团队分工协作能力。案例素材来源于科研论文转化而成的工程场景,本案例参考了边坡水利设施数字孪生巡检相关的研究成果,与水利运维单位实际业务诉求进行对接。典型实例为“无人机巡检影像的病害自动识别与三维标注系统”。业务背景为水利管理单位边坡、渠道构筑物的常态化巡检工作,传统人工现场巡检存在作业风险高、记录格式零散、病害位置难以回溯的现实短板,业务目标是依托无人机航拍影像,自动识别边坡表面侵蚀、剥落、淤堵、坍塌等病害,并且将识别结果映射至三维数字孪生模型,实现病害位置、类别、严重等级的三维可视化标注。任务链条包含:团队内部分工,分别完成无人机航拍采集方案设计、目标检测模型训练(YOLO 或者 FasterR-CNN)、运动恢复结构三维重建、图像语义信息向三维模型映射、Web 可视化原型开发;在限定测试数据集上开展整

体系统联调,输出病害检测精度、系统处理耗时、三维映射误差等量化指标;撰写完整系统设计报告,客观剖析整套方案的优势与现实局限,着重讨论光照变化、植被遮挡、拍摄角度偏差对识别与重建效果带来的干扰,给出后续迭代优化方向。该案例打通数据采集、智能识别、三维建模、可视化部署全链路,兼顾算法训练与工程系统落地,帮助学习者理解单一算法模块与完整业务系统之间的差距,实现综合实践能力的拔高。

3.4 案例文本结构与配套教学资源的标准化编写

为保障教学案例库在不同教师、教学周期中的可复用性,需建立统一规范的案例文本撰写框架与配套资源体系。标准化并非固化内容,而是降低备课与案例理解成本,让教师专注课堂研讨与学生思维引导,同时通过动态更新机制吸纳行业前沿数据与技术,确保教学内容紧跟产业迭代节奏。

规范案例文本包含七大核心要素:案例元数据,明确案例基础信息与前置知识,便于教学筛选;案例概述,介绍业务背景与核心问题;分层学习目标,涵盖知识、实操能力与工程素养三类目标;软硬件资源清单,列明数据、运行环境与参考文献;任务与交付物要求,明确实训步骤及报告、代码等提交成果;可量化评价标准,针对代码质量、实验分析、报告撰写等维度设置评分细则;教学实施建议,规范课时安排、分组方式与课堂组织形式。

配套教学资源分为四类:附带说明文档的标准化数据集、支持二次开发的基线代码框架、含答疑及评分标准的教师手册、可作为教学参照的优秀学生成果范本。同时,案例库建立常态化迭代机制,持续更新科研与产业真实工程数据,持续维系教学内容的实用性与前沿性。

4 结语

本文立足于智能土木人才培养的现实需求,结合人工智能与模式识别在土木工程领域的多元化应用场景,完成了课程案例库的体系化构建与内容开发。研究依托成熟教学理论确立案例设计准则与层级架构,搭建了梯度化、模块化的案例体系,并制定标准化的案例编写与资源配套规范。本次研究有效改善了课程理论与工程实践脱节的教学痛点,丰富了智能土木交叉学科的实践教学资源,可为高校相关课程教学改革提供参考,对提升学生工程智能化应用能力与创新素养具有积极作用。

参考文献:

[1] 马宏强,郑轩,方有亮等.工程材料理论与应用研究生课程案例库建设和教学实践探索[J].中国教育技术装

备, 2025(14).

[2] 曹霞. 构建与土木工程应用型本科相适应的教学课程体系探讨[J]. 高等建筑教育, 2009,018(003):75-77.

[3] 张新, 吕家翰, 王向鹏. 基于案例库的专业学位研究生教学研究——以“土木工程建造与管理”课程为例[J]. 安徽建筑, 2026,33(2):147-151.

[4] 欧进萍, 关新春. 土木工程智能结构体系的研究与

发展[J]. 中外交流, 1999, 19(2):21-28.

[5] 陈烜, 仵鹏涛, 赵学荣等. 土木工程施工课程教学案例资源库的建设与应用[J]. 科学咨询, 2023(21):245-247.

[6] 程思嫒, 吴志刚, 田力耕等. 土木类课程案例式教学数字资源库的研究初探[J]. 山西建筑, 2021, 47(1):2.

作者简介: 闫佳 (1989-), 女, 汉族, 河南省南阳市, 博士, 讲师, 研究方向: 固废资源化利用, 机器学习。