

# 高铁智能运维虚拟仿真实验设计与应用\*

彭文娟 李清勇 周围 余贻琛 许华婷

北京交通大学计算机与信息技术学院, 北京市 100044

**摘要** 针对当前物联网专业实践过程中所存在的拓展性差、时空限制、缺乏创新性实验和缺乏大型综合实训项目的教学问题, 本文研究设计了基于计算机视觉的高铁智能运维实验——高铁轨道巡检视觉感知虚拟仿真实验, 实验展示了高铁轨道巡检的目标对象、检测装备及关键传感器的工作原理、物联网视觉感知系统的整体构建和运行操作, 在虚拟仿真环境中实现高铁轨道状态检测的教学。结果表明, 该实验取得了较好的应用效果, 锻炼了学生的创新思维能力和工程实践能力。

**关键词** 新工科, 物联网, 实验教学, 智能运维, 轨道巡检, 计算机视觉, 虚拟仿真

## Design and Application of Virtual Simulation Experiment for Intelligent Operation and Maintenance of High-speed Railway

Peng Wenjuan Li Qingyong Zhou Wei Yu Kuanglu Xu Huating

School of Computer and Information Technology  
Beijing Jiaotong University  
Beijing 100044, China  
wjpeng@bjtu.edu.cn

**Abstract**—Aiming at the teaching problems of poor expansibility, time and space limitation, lack of innovative experiments and lack of large-scale comprehensive training projects in the current practice of Internet of Things, this paper studies and designs a high-speed rail intelligent operation and maintenance experiment based on computer vision-visual perception virtual simulation experiment of high-speed railway inspection. The experiment shows the target object of high-speed rail inspection, the working principle of detection equipment and key sensors, the overall construction and operation of the Internet of Things visual perception system, and realizes the teaching of high-speed rail state detection in the virtual simulation environment. The results show that the experiment has achieved good application results, and the training of students' innovative thinking and engineering practice ability has been realized.

**Key words**—the emerging engineering education, internet of things, experimental teaching, intelligent operation and maintenance, railway inspection, computer vision, virtual simulation

## 1 引言

随着当前信息时代新经济的快速发展以及新一轮的科技革命和产业变革的到来, 对工程人才的能力和素质提出了全新的要求, 让我国高等教育的工程人才培养面临新一轮的挑战, 强势促进我国高等工程教育的全面改革。而为了应对这一轮科技和产业的变革所带来的新机遇、新挑战, 教育部提出“新工科”的建设计划<sup>[1]</sup>, 对传统工程教育理念进行了反思与改革, 希望能够主动发挥学科的综合优势, 推动学科交叉融合和跨界整合, 产生新的技术, 培育新的工科领域, 促进科学教育、人文教育、工程教育的有机融合, 倡导多

学科思维交叉与融合, 构建更系统、综合的工程教育课程体系<sup>[2]</sup>。

物联网工程专业是一门典型的多学科深度交叉的新型学科, 是新工科建设的代表性专业。而物联网行业作为国家重点发展的战略性新兴产业, 2021年通过的十四五规划纲要中也将“物联网”划定为七大数字经济重点产业之一<sup>[3]</sup>, 进一步强调“物联网”产业的重要性。因此, 培养学科交叉融合、创新实践能力强、综合素质高、能胜任物联网行业发展需求的卓越工程人才的需求非常迫切<sup>[2]</sup>。但目前各高校在培养学生创新实践能力的实验教学方面还存在着许多问题, 传统的实验教学多以演示、验证为主, 拓展性弱, 创新性实验比重较少; 因时空和成本的限制, 一些高危、高消耗、长周期的实验不能随时随地做、重复做; 实践教学与科技前沿、工程实际相差较远, 难以跟上国家整体教学改革步伐<sup>[4]</sup>。

\*基金资助: 本文得到第二批新工科研究与实践项目“面向智慧交通行业需求的物联网专业新工科实验教学体系改革与探索”(E-HTJT20201704)项目支持

北京交通大学物联网工程专业 2021 年入选国家一流专业建设点, 计算机学院结合学校在智慧交通领域的优势特色, 面向新一代信息技术行业以及轨道交通等相关行业的发展和需求着力人才培养工作。为响应新工科建设的号召, 学院积极从课程体系、教学模式和人才培养途径等多个方向逐步开展教育教学改革, 在教学过程中实施产学研联合、科教融合等策略, 逐步将过往的经验分享转变为实操实训、将传统的课程笔试提升至能力培养。而针对当前实验教学中存在的主要问题, 将实体实验转换为虚拟仿真实验是一个很好的解决思路, 它能够突破时空的限制, 有效地补充实体实验中的不足。我校根据教育部发布的关于开展虚拟仿真实验教学项目建设的相关文件<sup>[5-7]</sup>的要求, 以人工智能、虚拟现实等信息技术为依托, 紧紧围绕立德树人根本任务, 深入促进实验教学与信息技术的融合, 不断加强高质量实验教学资源的建设与应用, 以提升实验教学质量和实践育人水平, 大力推进虚拟仿真实验的建设<sup>[6]</sup>。在新工科建设理念和虚拟仿真实验教学思想的引领下, 根据我校物联网专业的人才培养方向和当前实验教学的实际需求, 依托一线科研成果, 开展科教融合的基于计算机视觉技术的高铁智能运维实验——高铁轨道巡检视觉感知虚拟仿真实验的建设, 以进一步加强学生的实践创新能力、解决复杂工程问题能力的培养。

## 2 现状分析

### 2.1 虚拟仿真实验教学现状分析

随着信息技术在教育领域的应用, 国内部分高校相继开展基于互联网相关技术的虚拟实验、仿真软件及其在教育教学应用的研究。而随着虚拟仿真技术的迅猛发展, 以往因工业生产场景复杂、安全规范要求苛刻等难以实地开展的实践教学成为了可能。通过虚拟仿真技术将实际场景及实验设备虚拟化、实验内在原理逻辑仿真化, 让高危或极端环境、高成本或高消耗、不可逆操作以及大型综合训练类型的实验走进课堂教学中, 实现学生综合能力的提升。近年来, 在我国各项教育政策方针的大力支持下, 虚拟仿真实验的建设进度得到了一个飞速发展, 现已涌现出一大批质量高、共享好的虚拟仿真实验, 强势支撑了学生创新实践能力的培养过程。

我国在“十二五”期间就开展了国家级虚拟仿真实验教学中心的建设工作。2013 年起, 教育部为全面提高高校学生创新精神和实践能力, 促进优质实验教学资源的共享, 持续推进实验教学信息化建设, 推动高等学校实验教学改革创新, 分年度完成了 300 个国家级教学中心的评审<sup>[5]</sup>; 在此基础上, 为深入推进信息技术与高等教育实验教学的深度融合、不断加强优质资源的建设与应用、着力提高实验教学质量和实

践育人水平, 建设重点开始向应用发展, 通过相关专业类急需的实验教学信息化内容的指向, 以完整的实验教学项目为基础, 依次开展了 1000 门示范性虚拟仿真实验教学项目以及 1500 门国家级虚拟仿真金课的建设工作, 促进实验教学质量稳步提高<sup>[6-7]</sup>。有关高校按照“两性一度”的建设要求, 开展建设及申报工作, 并部署于国家虚拟仿真实验教学项目共享平台<sup>[8]</sup>进行资源共享, 充分发挥了虚拟仿真实验这个线上资源的作用, 特别是在疫情期间, 很好地填补了线上教学中实验实践训练的空白。截止至 2022 年初, 实验空间已经积累 3250 个虚拟仿真实验教学项目, 其中有 728 门获得了国家级虚拟仿真实验教学一流课程的认定, 基本涵盖了国内高校的全部学科范围<sup>[8-9]</sup>。

### 2.2 物联网专业教学现状分析

物联网工程专业是一门集计算机、通信、电子等多种学科知识融合于一体的工程性学科, 其工程应用能力极其强大, 已在智慧交通、车联网、智能电网、智慧农业、智能环境、智能物流、智慧医疗、智能家居等多个领域广泛应用, 大都是一些很庞大的物联网系统。因此, 对其专业人才的工程实践能力、综合设计能力、创新发展能力等多个方面有更高的要求, 这对其专业人才的培养提出了新的挑战。

实验教学是高校人才培养的重要环节, 对提高学生的实际动手能力、提升整体教学质量起到关键作用。但是, 当前各大高校物联网专业的实验教学还大多存在着以下问题:

(1) 缺少足够的实验设备仪器。现有的物联网相关实验设备大多比较昂贵, 实验室配备的实验设备数量有限, 但像是组网实验等部分实验需要大量的硬件资源或者需要较多的网络节点才能很好地展现实验课程的核心内容<sup>[10]</sup>, 现有的实验环境没法很好满足实验要求, 导致此类型实验无法有效开展。

(2) 物理实验空间的限制性较大。高校实验教学通常需要根据统一的教学安排, 在规定的时间内于专业的实验室内进行实验操作, 受时空条件的限制无法支撑对连续性要求较强的实验; 且由于设备数量有限, 需要多人操作一套设备, 无法开展个性化创新型的实验。

(3) 通用的物联网实验教学套件无法支撑更多的实验层次。当前的实践教学主要应用“物联网综合实验箱”之类的实验教学套件, 该类设备对于验证型实验可以起到很好的支撑作用, 但它难以关联社会生活和工业生产的实际应用场景, 无法满足复合型、创新型等实验层次的要求。

(4) 考核方式传统, 难以支撑人才培养目标。传统考核方式以知识点笔试为主, 部分有较强理论学习

能力的学生可以通过对知识点的短时间记忆取得较好的成绩,难以实现对学生的理论联系实际情况的真正考察,更难以实现学生实践操作能力和自主创新能力的提升<sup>[11]</sup>。

物联网技术在智慧交通领域很多场景都有所应用,高速铁路智能运维<sup>[12]</sup>是其中代表之一。高铁运维技术随着人工智能等技术的发展已日趋数字化、信息化、智能化,检修模式由“计划修”向“状态修”过渡,逐渐由“盲目维修”的粗放方式向“精准施修”模式转变,运维形式也已逐渐由传统的人工巡检模式向多传感器自动化检测形式转变<sup>[13]</sup>,其中又以无损的、非接触式的视觉感知系统<sup>[14]</sup>最受关注。而随着高铁智能运维技术的发展,铁路行业对人才的需求也在调整,由工作重复低效的巡线工人向掌握物联网、人工智能等技术的人才转变,且该部分的人才缺口在不断扩大。为主动服务国家创新驱动发展和“一带一路”等国家重大战略实施<sup>[1]</sup>,需做好该方面的人才储备,完成具备了解高铁运维背景的、熟练掌握传感器原理、物联网系统设计、人工智能算法编程研发等方面实践能力的人才培养。又由于运维场景长期处于高运营状态,其上有不计其数的列车高速运行,危险性高,难以开展现场实训,因此,面向高铁智能运维场景开展虚拟仿真实验教学很有必要。

### 3 实验设计

本实验在设计过程中始终秉持着以学生为中心、以工程实训为核心、以创新实践能力培养为重心的原则,实验建设坚持能实不虚、虚实结合的原则,坚持立德树人的根本任务,融合课程思政,增强学生参与“交通强国”和“一带一路”等国家战略的使命感,主动适应高速铁路行业发展的人才需求。

实验针对目前实践教学过程中业务场景难以提供大规模实训环境,且业务过程中相关传感器价值昂贵,学生很难进行实践训练获得真切的学习体验,较难掌握实际轨道病害特点,难以深刻理解各传感器在采集、协同工作、脉冲控制信号流动等方面的关键原理与核心知识点等问题,以高速铁路智能运维为虚拟仿真实验教学场景,通过构建视觉感知系统执行高铁轨道巡检的运维任务,并基于计算机视觉技术实现对轨道病害的检测。将理论知识、实践技能和创新思维等进行多维融合,以求推进学生交叉领域知识的掌握、综合实践能力的锻炼和工程创新思维的提升,使其能够更好地将理论联系实际,创造性地解决所提出的复杂工程问题,增强其技术创新的科研精神。

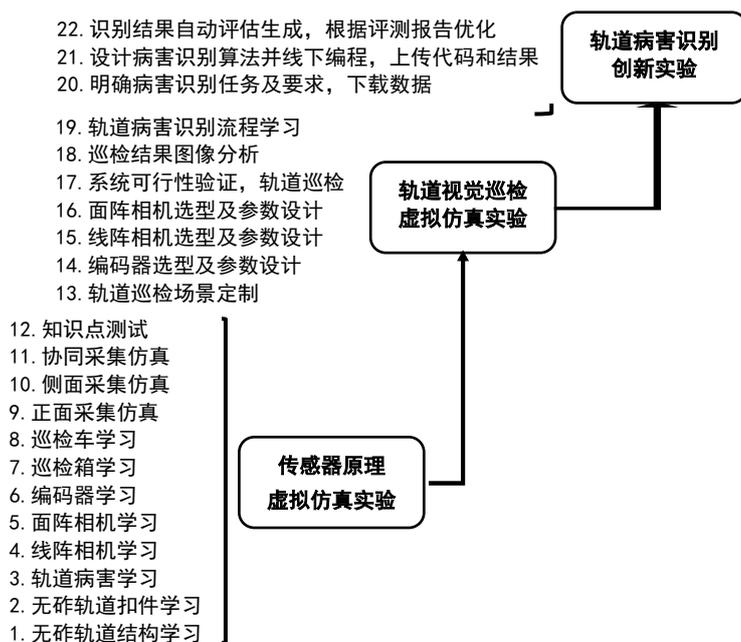


图 1 高铁轨道巡检视觉感知虚拟仿真实验操作步骤

实验项目根据对学生能力培养的不同阶段划分为认知型、综合型和创新型三个层次实验,分别对应传感器原理虚拟仿真实验、轨道视觉巡检虚拟仿真实验

和轨道病害识别创新实验三个子实验,具有层次化、模块化、系列化等特点。前两个层次实验用于满足非计算机类专业的教学需求,要求学生理解视觉感知原

理和物联网系统架构；三个层次的完整实验内容则满足计算机类专业的需求，以培养学生的工程实践能力、专业能力以及创新思维。实验共包括 22 个操作步骤，整体结构如图 1 所示。认知型实验主要是针对相关传感器的知识点和工作原理进行梳理与验证分析。综合型实验主要是根据前一实验所学知识按照实际工程情况进行设计。创新型实验主要是根据前期实验获取的巡检数据，并从前期所学习到及观察到的轨道病害特点，进行创新性算法的设计及实现。三个子实验分层设计，循序渐进，相互之间具有知识的相关性和递进性，实验内容之间的知识由浅入深，相互关联，前面的原理知识的学习由后面的设计实验进行验证，而设计方案的质量又由后续的仿真巡检予以验证，从而引导学生探索解决复杂工程问题的思路，激发其自身的学习兴趣，以掌握基本科研方法。

### 3.1 传感器原理虚拟仿真实验

传感器原理虚拟仿真实验旨在帮助学生熟悉高铁智能运维问题的行业背景知识以及进一步掌握传感器工作原理等专业知识，强化学生的理论知识，为后续实验奠定基础。为了将高铁智能运维应用于实验教学中，需要将运维过程中的检测对象、检测装备以及工作过程进行梳理，让学生能够将该问题的基础理论知识按照实验要求进行理解或掌握，通过本部分实验（可以重复操作），学生将了解高铁无砟轨道和常见轨道病害等行业知识；掌握轨道巡检装备中主要传感

器（比如线阵相机和编码器等）的理论知识，包括传感器的机械结构和工作原理等。从而增强学生对中国特色的高铁这张“名片”的认知，了解这条有中国特色的交通运输发展道路的历程，强化其参与“交通强国”、“一带一路”等国家战略的使命感。

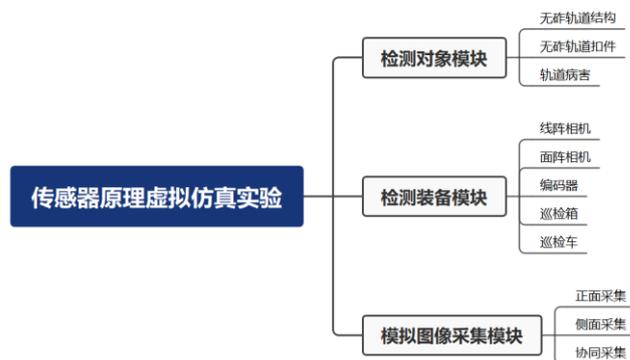


图 2 传感器原理虚拟仿真实验架构图

因此，本实验项目将检测对象——高速铁路轨道等有关行业背景知识，以及检测装备——传感器系统的相关结构基础和工作原理的专业理论知识，内化于实验内容中，划分为检测对象、检测装备和模拟图像采集三个模块，如图 2 所示，让学生完成对高铁智能运维场景的认知，为后续的实验开展奠定基础。

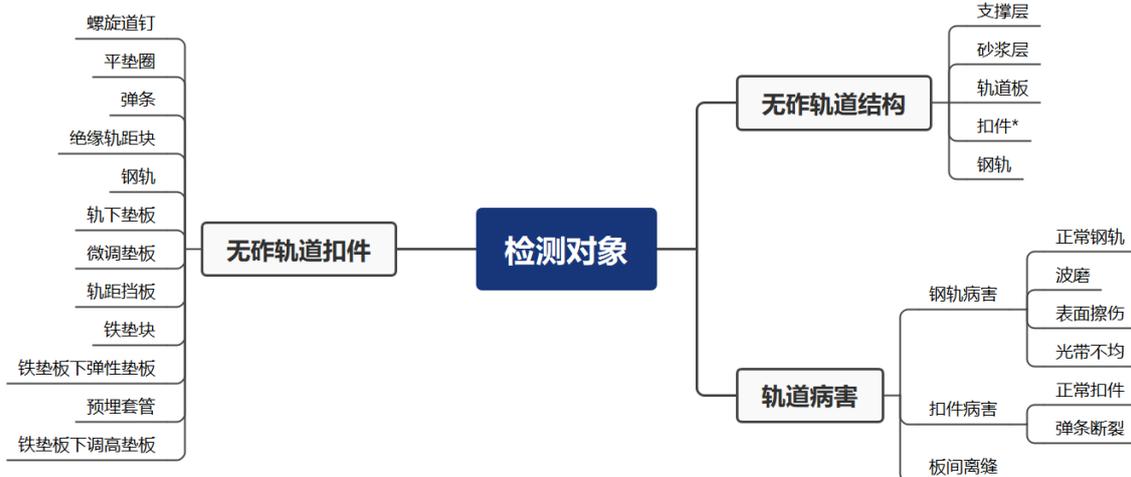


图 3 检测对象模块知识框架图

该子实验以认知为主，内容层层深入，需完成上一步骤才能开启下一步骤的学习。实验过程中，学生将先进行检测对象模块的学习，该模块所有知识点框架如图 3 所示。系统通过静态虚拟高铁无砟轨道（包括钢轨、扣件和轨道板等）和典型病害（包括钢轨病害、扣件病害和板间离缝等）的高精度数字化模型，如图 4 所示，将高铁运维的检测对象——高速铁路无砟轨道整体结构、扣件组成和常见轨道病害等元件直

观地展示在学生面前，学生可以通过缩放模型、调整视角等方式多角度观察元件，并通过右侧知识页浏览知识点文字说明等方式学习高铁领域知识，让其对高铁运维这个实际工程任务中待解决的问题有一个整体的认知。

然后针对高铁运维的检测装备——巡检系统整体架构和关键传感器的内容进行学习，检测装备模块知

识框架如图 5 所示。实验系统围绕着以学生为中心的设计原则，除了对所有装备建立了虚拟模型外，还对核心装备——巡检箱的工作原理进行了动态仿真展示，通过巡检箱内部信号的流动和转换过程，强化学生对巡检系统工作原理的理解。

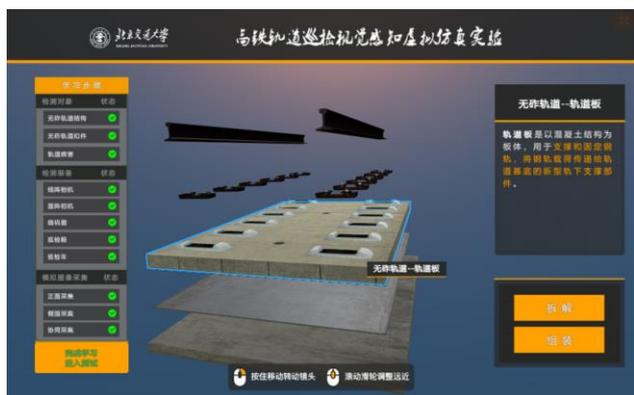


图 4 无砟轨道结构学习步骤界面截图

同时还在模拟图像采集模块中根据控制变量实验法逐次仿真线阵相机、面阵相机所拍摄视场效果的快门触发工作过程，模拟在不同参数（主要包括光圈、帧率和曝光时间等）下巡检系统的图像采集过程，如图 6 所示。学生通过人机交互方式操作传感器、巡检装备，实时观察交互结果，深入理解传感器的工作原理。最后，通过知识点测试的步骤来进行学生重要知识点掌握程度的衡量，也是对整个子实验重点内容的学习回顾。

务需求和约束，掌握线阵相机、面阵相机、编码器等主要传感器的协同机制和选型原则，掌握物联网系统架构的技术原理，并且从图像效果和传感器成本等多个维度综合评估实验结果。从而实现培养学生的“解决复杂工程问题能力”和“在多学科环境中应用工程管理原理与经济决策方法能力”的目标。

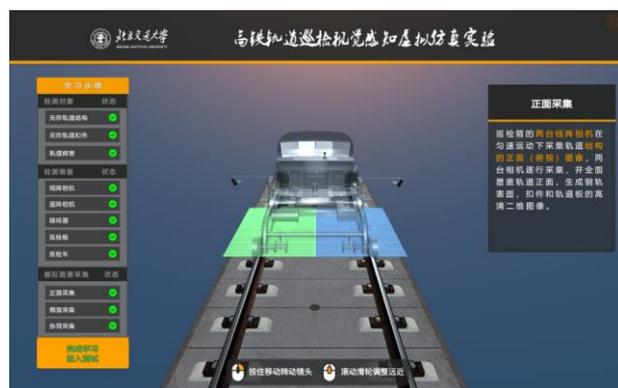


图 6 模拟图像采集模块正面采集步骤实验截图

该子实验以综合实训为主，同时也是整个虚拟仿真实验的核心环节，关键内容在于整个巡检系统的设计。实验系统依据以工程实训为核心的设计原则，建立了包括隧道、桥梁和山川等典型要素的高速铁路线路模型，构建了沉浸式的虚拟巡检环境，并根据以创新实践能力培养为重心的原则，设计轨道视觉巡检任务，学生可反复调整实验设置进行个性化设计。

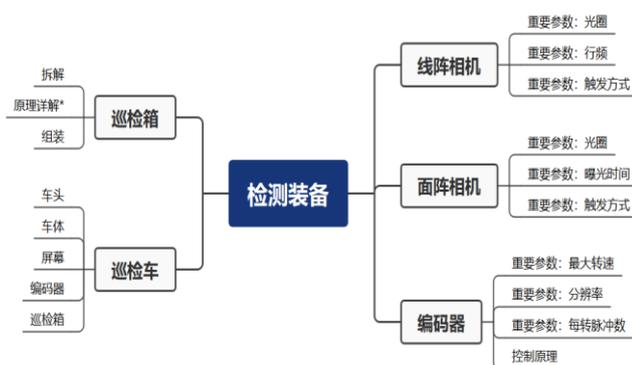


图 5 检测装备模块知识框架图

### 3.2 轨道视觉巡检虚拟仿真实验

轨道视觉巡检虚拟仿真实验旨在培养学生面向轨道巡检应用需求设计综合解决方案的实践动手能力和解决问题能力，通过虚拟生成高铁轨道线路环境，用轨道巡检这一实际工程问题来进一步考查学生对理论知识的理解及其应用实践的掌握程度，提升学生的工程实践能力。通过实验，学生可深刻理解轨道巡检业

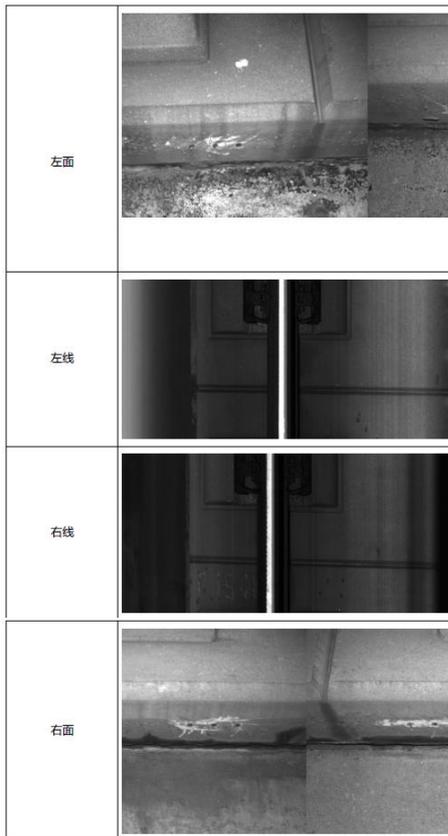


图 7 轨道视觉巡检虚拟仿真实验轨道巡检步骤实验截图

在实验中，学生通过交互式操作，可在虚拟环境中自主设计在不同场景（比如天气、速度）下、不同设备型号的高铁轨道巡检方案，并实时观察对应的巡检仿真过程及其视觉感知的结果，如图 7 所示，在实现前一模块知识的考查的同时，为下一模块提供数据基础。在此过程中，为锻炼学生的工程实践能力，在方案设计中需综合考虑传感器的价格，实现经济成本的控制，并通过传感器方案校验环节检验方案的可行性。

北京交通大学高铁轨道巡检视觉感知虚拟仿真实验报告							
学号: [ ]		姓名: [ ]		成绩: 中			
<b>【实验内容】</b>							
1) 视觉传感器图像采集虚拟仿真实验了解高速铁路轨道结构和典型病害, 掌握相关传感器工作原理, 开展实验并通过测试, 为轨道视觉巡检综合实验奠定基础。							
2) 高铁轨道巡检视觉感知虚拟仿真实验掌握轨道视觉巡检系统的协同工作机制, 开展在不同轨道场景下的视觉感知实验, 了解典型病害的图像识别方法。							
<b>【虚拟场景】</b>							
当前实验环境为(晴天), 轨道病害类型为(钢轨擦伤), 巡检车的车速为(60km/h)、车轮周长为750mm, 线阵相机的精度为1mm/pixel, 面阵相机的视场为650mm(垂直于轨道)×800mm(平行于轨道)。							
<b>【实验设置及评分】</b>							
传感器	编码器		线阵相机		面阵相机		
参数设置	最高转速	每转脉冲个数	最大行频	触发方式	最大帧率	触发方式	软/硬触发参数
	1000	1000	17500	外部触发	21	软触发	800
评级	60	75	100	100	100	100	100
<b>【实验结果】</b>							
本次实验中, 原理学习部分成绩为: 90分, 共答对了9道题, 答错了1道题; 轨道巡检部分所选实验设备总花销为35800元, 整体成本略高; 根据实验选择的各项参数所采集到的图像的变形率为0.75、重叠率为0.25、漏拍率为0。							
综上, 本次实验的总体评级为: 中							
本次实验中所采集的图像示例:							

(a) 实验报告评分及结果页



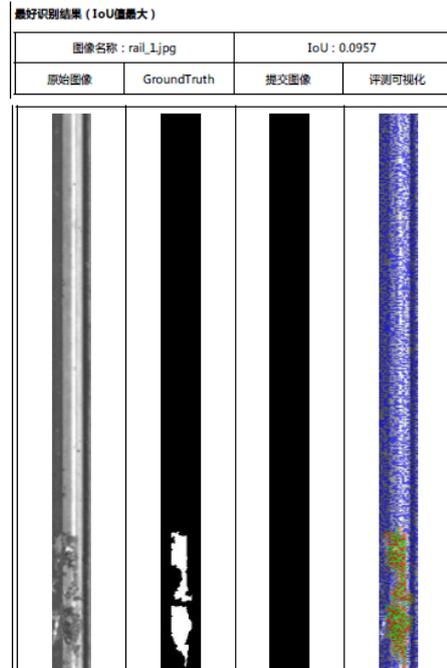
(b) 实验报告采集图像示例页

图 8 实验报告示例

最后, 系统将从采集图像质量和硬件集成的经济成本等多个维度评估巡检实验, 生成定性和定量的实验报告, 如图 8 所示, 让学生可以明确自己设计方案的不足之处, 以作针对性的改进设计。

北京交通大学高铁轨道巡检视觉感知虚拟仿真实验报告					
学号: admin		姓名: 管理员		成绩: 差	
<b>【实验内容】</b>					
设计和编写图像分析和病害识别算法, 并对10幅典型的钢轨表面图像进行病害识别并按照实验要求提交到平台。图像是单通道灰度图, 图像大小为55 × 800。					
<b>【实验总评】</b>					
图像名称 (*.jpg):	rail_1	rail_2	rail_3	rail_4	rail_5
IoU	0.0957	0.0375	0.0134	0.0251	0.0363
图像名称 (*.jpg):	rail_6	rail_7	rail_8	rail_9	rail_10
IoU	0.0208	0.0529	0.0276	0.0241	0.0262
平均IoU:	0.0360				
格式检测说明					
<b>【评测结果】</b>					
评测展示说明:					
编码器					
1)IoU是单幅图像的评测指标;					
2)原始图像是平台提供的含有病害的单通道灰度图图像,GroundTruth是人工标注的二值图像;					
3)评测可视化中对识别结果进行可视化。其中, 绿色标记正确识别的病害区域; 蓝色标记错误识别的非病害区域; 红色标记漏识别的病害区域。					

(a) 实验报告评测结果页



(b) 识别结果可视化页面

图 9 评测报告示例

### 3.3 轨道病害识别创新实验

轨道病害识别创新实验旨在培养学生面向开放性、挑战性应用前沿技术进行创新实践的能力，通过指定开放性病害识别编程任务，锻炼学生的算法设计及编程实践等创新型专业技术能力。通过实验，学生可掌握与病害识别相关的模式识别理论知识，并且自主设计算法，编程调试与实践，然后通过实验平台进行识别结果的量化评估。培养学生运用前沿人工智能技术的创新能力。

该子实验以创新拔高为主，是本实验的高阶实验内容。系统结合当前实验场景围绕以创新实践能力培养为重心的原则，设计轨道病害识别任务。学生在掌握轨道病害识别方法后，可通过实验系统下载实际工程应用中所采集到的轨道巡检图像数据集，明确病害识别任务及要求后，自主设计创新性的人工智能算法并在线下用任意程序语言进行编程开发实践，完成计算机专业能力的锻炼。实现数据的病害识别处理后，通过系统提交代码及识别结果，系统即可智能评估算法的性能，生成相应的评测报告，如图9所示，学生可根据报告内容直观了解自己所设计的算法的不足，并进行针对性地算法优化迭代，实现了自主设计能力及编程实践能力的培养。

## 4 实验教学过程及应用

本实验教学过程遵循理论与实践相结合，三层实验循序渐进，线上线下相结合等原则，各层次实验要求如图10所示。

实验开始之前，先通过教师在线下理论课堂讲授物联网架构、相机等视觉传感器原理和模式识别相关的基础理论知识，为学生打下理论知识的基础；然后在实验课堂概述高铁轨道巡检应用背景和要求，提出明确的、有挑战度的实验目标，引导学生进行深入探究和实践。



图 10 面向高铁轨道巡检的视觉感知虚拟仿真实验三层架构

表 1 实验应用情况统计表

序号	学期	实验应用课程	实验人数
1	2019-2020上	物联网架构与技术	29
2	2019-2020下	物联网架构与技术	32
3	2020-2021上	大学计算机基础	646
4	2021-2022上	大学计算机基础	2181
5	2021-2022下	传感器原理及应用	39
6	2021-2022下	传感器原理及编程技术	29

表 2 部分学生实验感想摘录表

序号	学生学号	学生实验感想
1	1722 1080	高铁轨道巡检视觉感知实验很有意思，让我学到很多知识，测试题目也让我进一步熟悉了知识点，加深了印象。在系统设置，传感器校验的参数设置上面费了一些时间，但是最终还是成功完成了参数设置，也学会了传感器参数的相关设置和计算。总之学到的知识很多，通过这种虚拟场景，我对各种设备和传感器的理解更深了，而不是书本上的枯燥知识，在实际中也能很好低用上学到的这些知识点。这样的实验很有意思，体验感也很好。
2	1829 1050	通过这次仿真实验，让我更深的了解了到高铁巡检的过程，以及铁路与巡检的构成还有它们的作用。也知道了如何给它们选择规格才是适合它们的，所以这次的实验让我收获良多，也非常喜欢这类型的实验。
3	1928 1237	我对此次实验感觉收获良多，虽然空间及成本的限制使得高铁轨道状态检测在真实场景下实验困难，难以获得真切的直观体验。但是本实验通过虚拟仿真技术模拟在不同线路环境和天气环境下的高铁轨道巡检模式，让我了解到了轨道各模块相关工艺过程、设备和工具的基本原理、工艺技术和运行操作，并通过亲自动手参与轨道巡检，分析典型轨道病害图像，让我对交叉学科学习产生了新的认识，加深了对我国铁道工作者的敬意。
4	2025 1085	计算机编程可以帮助我们设计出高铁巡检程序，设计出既符合图像设置要求，又满足经济效益的调控程序。可以帮助我们及时发现问题，同时又大大简化了人力、物力、时间的浪费。这足以说明计算机的重要性以及这个实验让我们更清楚的了解到高铁巡检系统，科普了高铁的基础知识，符合并结合了学校的特色学科优势。
5	2139 8062	……在此实验中，我进行了多次调试才获得了较为完美的数据，在此过程中，我明白了坚持不气馁和进行总结和数据分析的重要性，我只是进行了简单的几项参数设置就体会到了这项工程的难度，而这只是高铁巡检视觉感知这个庞大工程的冰山一角，所以我更应感谢与敬佩广大的高铁科研人员，为了高铁平稳舒适的运行而做出的不懈的努力和付出，才得以使中国成为铁路强国，拥有领先于世界的中国速度。此外，此次学习的一大亮点便是虚拟仿真的实验形式，我是第一次以这种形式在网上学习课程，我认为虚拟仿真为我带来了更加直观、便捷的学习体验，我不亲临现场就真切直观的看到每个部件的3D建模及拆解和组装的过程，这种形式的丰富提高了我对知识的兴趣，从而在无形之中提高了我的学习效率；我感到十分有幸，伴随着科技的发展，我可以享受科技带来的便利，同时也要感谢学校为我提供了一个如此优秀的平台，以科技丰富了我的学习体验。

然后，在实验过程中划分为认知型、综合型和创新型3个层次的实验阶段，实验教学过程循序渐进。学生先开展传感器原理虚拟仿真实验（认知型），并且

通过知识点测验后才可以参加后续实验。学生理解轨道巡检领域知识和传感器原理后, 可以开展轨道视觉巡检虚拟仿真实验(综合型), 掌握物联网系统架构和集成的能力, 深刻理解轨道病害特征, 为后续轨道病害识别创新实验奠定基础。

最后, 实验教学过程强调线上线下结合。教师在实验教学过程中始终重视线下辅导和线上答疑。在轨道病害识别创新实验部分, 学生需要线下完成病害识别算法设计与编程实现, 然后利用线上平台进行量化评估, 完成实验报告。

本实验项目于2019年开始建设, 完成后逐步开始推广应用, 首先开始于我校物联网工程和计算机科学与技术(铁路信息技术)两个本科专业进行教学实践, 是《物联网架构与技术》、《传感器原理及应用》等专业课的核心实验。同时, 为了适应“新工科”建设需求, 也面向全校工科专业开放, 作为公共基础课《大学计算机基础》的选作实验, 促进专业交叉融合。截止到2022年5月, 本实验项目已开展5个学期的教学应用, 应用情况如表1所示。仅2021学年新增用户2000余人, 实验通过率超过80%, 及时的实验响应、便捷的操作形式以及沉浸式的实验方法获得师生的一致好评, 部分学生实验感想摘录如表2所示。

## 5 结束语

基于计算机视觉的高铁智能运维虚拟仿真实验选取高铁轨道巡检应用场景进行大规模传感器系统设计综合实训, 对高铁运维领域与物联网、人工智能等技术进行了二次交叉融合研究, 响应了新工科建设的号召, 主动适应了中国高铁行业发展的需求, 也满足了虚拟仿真实验项目建设中的主动服务国家创新驱动发展、“交通强国”和“一带一路”等国家重大战略实施的要求<sup>[1]</sup>。

实验围绕着以学生为中心原则, 将工作原理具象化, 强化学生对各传感器在采集、协同工作等方面的关键原理的理解, 便于其更直观地感受线阵相机拍摄一行照片、脉冲控制信号流动等较为抽象的概念。根据以工程实训为核心和以创新实践能力培养为重心原则, 构建虚拟的轨道巡检环境, 设置高铁运维任务——轨道状态的巡检及轨道病害的检测, 凭借虚拟仿真技术突破时空的限制, 便于学生随时随地、不限次数地进行该工程项目的实训和针对性的创新算法优化, 以获得工程上的实践锻炼。

本实验项目2021年度获批虚拟仿真实验教学创新联盟首批实验教学优质创新课程培育项目。目前已应

用于物联网及计算机相关专业学生的传感器原理及应用等多个课程实验中, 在对传感器系统进行学习和分析的过程中强化了理论知识的理解, 促进了知识的内化过程; 视觉巡检系统方案的设计过程促使学生将理论与实际相结合, 对其分析问题、解决问题及工程实践的能力起到了提升; 轨道病害识别算法设计及实现过程则锻炼了学生的创新思维和专业能力。本实验项目的实施对专业人才的实践能力培养起到了很好的促进作用。

## 参考文献

- [1] 教育部高等教育司关于开展新工科研究与实践的通知[EB/OL]. [2017-07-20]. [http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201702/t20170223\\_297158.html](http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201702/t20170223_297158.html)
- [2] 桂琼, 程小辉. 新工科物联网工程专业人才培养模式思考[J]. 高教学刊, 2018, (12): 167-169.
- [3] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[EB/OL]. [2021-03-13]. [http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm)
- [4] 张宁, 赵毅强, 兰旭博, 等. “新工科”背景下关于虚拟仿真实验的几点思考和建议[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(3): 185-188.
- [5] 关于开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知[EB/OL]. [2013-08-13]. [http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201308/t20130821\\_156121.html](http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201308/t20130821_156121.html)
- [6] 教育部办公厅关于2017-2020年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知[EB/OL]. [2017-07-13]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/t20170721\\_309819.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/t20170721_309819.html)
- [7] 教育部关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设工作的通知[EB/OL]. [2018-06-05]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/t20180607\\_338713.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/t20180607_338713.html)
- [8] 国家虚拟仿真实验教学项目共享平台[EB/OL]. <http://www.ilab-x.com/>
- [9] 何珊, 方堃, 刘慧明, 等. 虚拟仿真实验教学项目建设措施探索[J]. 科教导刊, 2021, (3): 65-67.
- [10] 欧阳志友, 袁春蕾. 物联网虚拟仿真实验教学平台建设研究[J]. 计算机教育, 2017, (12): 155-158.
- [11] 王竞, 吴响, 黄怡鹤, 等. 医学院校物联网工程专业虚拟仿真实验教学体系建设与实践[J]. 高教学刊, 2017.
- [12] 尹春雷. 高铁综合运维的发展与展望[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019.
- [13] 王保国, 张可新, 杨校, 等. 高速铁路基础设施维护管理及综合维修体系研究[J]. 中国铁路, 2019(3): 10-15.
- [14] 王建柱, 李清勇, 张靖, 等. 轨道病害视觉检测: 背景、方法与趋势[J]. 中国图象图形学报, 2021, 26(2): 287-296.