

文章编号: 2096-1618(2024)06-0665-11

智慧化孪生教室系统设计与开发

刘欣冉¹, 曾佳宏¹, 罗森², 郑永秋², 蒲官朕², 罗德宁¹

(1. 成都信息工程大学自动化学院, 四川 成都 610225; 2. 成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都 610225)

摘要:智慧教室作为智慧校园建设的重要环节,为教学信息化、数字化、智能化提供重要支撑。目前智慧教室建设过程中存在教室智能化程度低、获取教室环境信息不及时、教学资源利用不足等问题。因此设计开发了一套智慧化孪生教室原型系统,旨在高效提高教室环境监控和智能化监管能力。系统综合采用数字孪生、深度学习、传感器检测等技术,设计并实现了数据检测模块、智能计算模块、可视化模块3个功能模块。数据检测模块通过摄像头和传感器采集课堂环境信息,并通过UDP和TCP通讯协议将数据传输到计算机,供智能计算模块使用。智能计算模块主要使用YOLOv5算法对摄像头实时视频进行检测并智能计算,识别学生性别、统计人数、检测位置等功能。最后通过构建教室的孪生模型,并与物理教室进行数字映射,实现数据的可视化显示。结果表明,系统可以实时检测教室温湿度、识别学生人数、性别比例和位置信息,并将检测到的数据实时可视化展示。整个系统的延迟在1s以内,帧率在30FPS左右,能满足智慧教室的应用需求,能用于教师实时管理课堂、合理利用课堂资源、提高课堂的智慧化程度,为智慧校园提供技术支撑,对推进智慧校园建设具有积极意义。

关键词:智慧教室;数字孪生;深度学习;智慧校园

中图分类号:TP399

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2024.06.004

0 引言

随着科技的发展,信息技术以及数字化变革深刻影响着社会发展,改变着人们的生产、生活和学习方式,各行业也在相应地实现管理模式和方法的更新换代。教育行业也不例外,随着“互联网+”提出,校园建设也越来越注重信息化、数字化、智能化建设,打造智慧校园成为了一个紧迫的任务。智慧校园旨在提高校园信息服务和应用的质量与水平,建立一个开放、创新、协作和智能的综合信息服务平台^[1]。

智慧教室是智慧校园建设至关重要的一部分,传统教室采用黑板、投影仪、摄像监控等设备,由于智能化程度不够产生许多问题。例如教师需要点名对学生进行考勤浪费了宝贵的教学时间;教师无法实时获取学生的上课状态,不能及时调整教学方案导致教育质量不高;教室资源如空调、电灯、电脑设备等仪器无法根据教室的使用情况有效调整运行状态导致教室资源浪费。针对以上问题,智慧化孪生教室系统结合数字孪生技术,将物理教室中的信息数字化,并建立数学模型,在计算机系统中实现教室的仿真、监测和控制,对教室环境进行实时监控和预测,及时发现问题并进行改善,从而保障教室设备、系统和学生的安全,提高授课效率和教学质量。同时可根据数字孪生技术对教室

进行模拟分析,优化教室的布局、温度、光照等因素,为学生提供更舒适、更适宜的学习环境。

国外对于智慧教室的研究比较领先,尤其是发达国家,主要体现在技术、高科技设备与教室的结合,如美国麻省理工学院提出的教室与实验室的智慧课堂模式,结合网络教学系统、3D视觉仿真图形、实验动态仿真以及实验室的先进设备^[2]。这种模式的智慧教室,可以提高学生的协作和动手能力,营造良好的互动学习氛围^[3]。但是只有顶尖的学校才能提供资金和设备去建设这样的智能教室,应用范围并不广泛。中国智慧教室的发展趋势一直在上升,尤其在2018-2022年,随着物联网、大数据、云计算等新兴技术的成熟,再加上疫情影响线上教学普及,许多地方都开展了智慧教室的建设^[4]。广东理工学院搭建了两间具有自动录播和一间可多屏互动的智慧教室,满足学生远端获取教学资源的需求,提高教师教学质量和水平。上海交通大学建立了基于互联网、物联网技术集智慧教学、人员考勤、环境智慧调节及远程控制于一体的新型现代化智慧教室系统^[5]。虽然中国在智慧教室的建设上取得了不少成就,但依然存在许多问题,如智慧教室需要设备和技术的支持,使建设的智慧教室往往功能单一或者只能搭建少数智慧教室,不能普及整个校区。由于智慧教室具有高智能化的特性,许多功能难以操作,很多教师无法完全掌握其功能,需要技术人员对教师进行培训^[6]。由于技术受限,一些技术很难与智慧教室结合,这使智慧教室往往只有形,而无实际可用的功能等^[7]。

收稿日期:2023-08-07

项目基金:四川省自然科学基金资助项目(2022NSFC0934);四川省科技计划资助(2023YFG0122)

通信作者:罗德宁. E-mail:loening@foxmail.com

智慧教室研究方向主要分为两个方面:一是针对提高教学质量的研究,二是针对教学资源的有效利用的研究。在提高教学质量方面,智慧教室主要包含教室信息可视化^[8]、考勤系统^[9-10]、学习状态检测等功能。教室信息可视化目前比较热门,其趋势是在智慧教室中融入数字孪生技术^[11]。基于数字孪生的智慧教室可将教室内的物联网平台和教室外的互联网平台紧密结合,有效获取教室信息并以数字孪生形式发送给教室,有助于提高教学质量。根据场景大小精细度等要求不同,搭建孪生模型的方法也不同。对于像车间、教室这种小型的场景,通过 Blender、3Dmax、C4D 等建模软件便可以对孪生体进行几何建模^[12]。其优点在于手工建模往往比较精细能更好地实现可视化,缺点是建模需要花费的时间成本较高。而对于大场景,像是整个工厂、校园的建设,人工建模便不可行,可利用无人机航空倾斜摄影制作场景的点云模型快速搭建场景,其优点是快速便捷,缺点是搭建的模型可能不是十分精细。模型建好后利用 Unity、Unreal 等数据驱动引擎驱动孪生模型,进行实时映射,实现从物理实体到数字孪生体的同步运行^[13]。Han Xu 等^[14]借助数字孪生技术将物理校园精确地映射到虚拟校园,通过物联网技术感知和操纵校园,虚拟校园空间对物理校园做出反应,提供校园的实时反馈,实现校园信息可视化。这些研究表明数字孪生可运用于智慧教室信息的可视化。

学习状态检测是指智慧教室实时记录学生上课状态信息,并将这些信息实时反馈给教师,方便教师及时调整教学方案,有助于师生互动,从而提高教学质量。针对实时统计教室人数、区分性别、检测位置的主要方法有基于检测的方法、基于聚类的方法、基于回归的方法和基于深度学习的方法^[15]。可以运用到物联网、深度学习技术,利用教室的摄像头监控系统获取教室实时图像,搭建可靠、稳定的人数跟踪应用平台。通过检测学生的头部特征,使用 AdaBoost 级联分类器,对提取的视频帧 HOG 样本特征进行训练,实现头部检测模型用于检测人数。张晓强等^[16]提出利用现有的视频监控获取教室实时图像,通过检测学生头部特征,进行人脸识别,分析学生表情实现状态检测,系统在不遮挡头部特征的条件下识别准确率高于 80%,基本可以满足教室学习状态的检测要求。

在教学资源有效利用方面,李秀明等^[17]认为目前经常出现师生对教室的高度需求和教室资源连续闲置的矛盾。比如当教室没有使用时,教室中的电灯、空调等设备仍处于运行状态,造成教室资源的浪费;当教室某些设备出现问题却没有及时报备导致师生可能使用到有问题的教室等^[18]。陈氢等^[19]认为在智慧教室中结合传感器、采集器对教室的各种物理量、化学量或生

物量进行动态化的信息捕获,获取现场实时状态,教室设备运行状态等信息。及时将这些信息反馈给管理者做到教室资源的有效利用。Huang 等^[20]设计了一个智慧教室,包含一个展示教室环境信息的信息板,该信息板不但可以显示此教室的使用状况,还包含如 CO2 水平、湿度和温度等教室物理环境信息,通过这些信息可以及时控制排气扇,空调的运行状态,在一定程度上节省了教室资源。

综上,对于智慧教室的研究还处于起步阶段,绝大多数智慧教室的研究还在理论阶段。对于已经建成的智慧教室也存在成本高昂、智慧化程度不够、技术短板较多等问题。因此,本文以智慧教室建设以实践为主,先完成智慧教室的部分实际功能,再通过不断地研究验证融入更多智慧教室新功能,最后搭建出一个功能完善、易操作、易维护的智慧教室。从传感检测、智能计算、构建慧化孪生教室系统 3 个方面展开工作讨论,实现一套智慧化孪生教室原型系统,达到高效提高教室环境监控和智能化监管能力的目的。

1 智慧化孪生教室原型系统

系统主要使用数字孪生技术搭建孪生教室模型并实现物理教室中温湿度、人的数量、位置、性别等信息到虚拟教室的映射。智慧化孪生教室系统的整体框架如图 1 所示,主要包含传感检测模块、智能计算模块、可视化模块 3 个模块。传感检测模块用于获取教室的环境信息,包括摄像头、温湿度传感器等,通过传感检测获取的数据存入数据库供智能计算模块调用。智能计算模块主要是对摄像头拍摄画面进行实时检测,获取教室人数、性别比例、位置信息等数据,用于可视化模块教室映射及数据展示。可视化模块首先通过外部建模软件工具如 3DMax、C4D、Blender 等搭建教室的孪生模型,再将模型导入到 Unity 引擎中并搭建 UI 界面,最后通过 C#脚本获取智能计算模块的数据用于教室映射及数据的可视化展示。

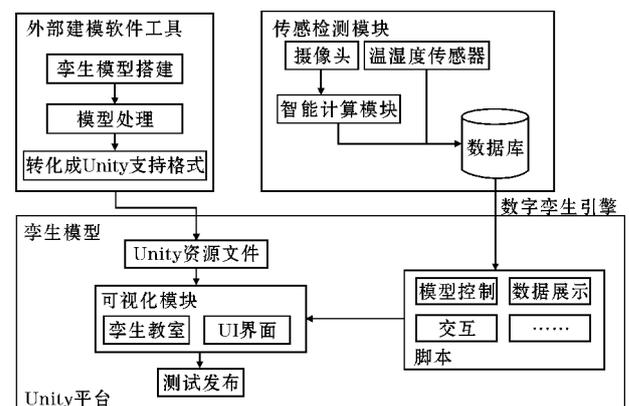


图1 智慧化孪生教室系统的整体框架

智慧化孪生教室系统主要基于数字孪生、物联网、深度学习等技术,整体技术路线如图 2 所示,主要实现温湿度检测、人群检测、性别识别、位置检测等功能。传感检测模块涉及 ESP8266 串口无线 WiFi 模块和 DHT11 温湿度传感器等硬件,以及用于传输数据的 UDP、TCP 通信协议。传感检测模块在获取到教室环境信息后将教室环境信息发送给智慧化孪生教室系统,智慧化孪生教室系统调用智能计算模块对教室环境信息进行人群检测、性别检测和位置检测,以获取教室人数、性别检测和检测目标的位置信息。整个智能计算模块在 Python 中实现,主要使用 YOLOv5 算法,根据不同功能还需实现人群统计算法、数据集制作、模型训练和位置检测算法。智能计算模块获取的数据发送给可视化模块用于教室映射和数据展示。可视化模块主要包含教室映射算法的实现、UI 交互及数据可视化展示。

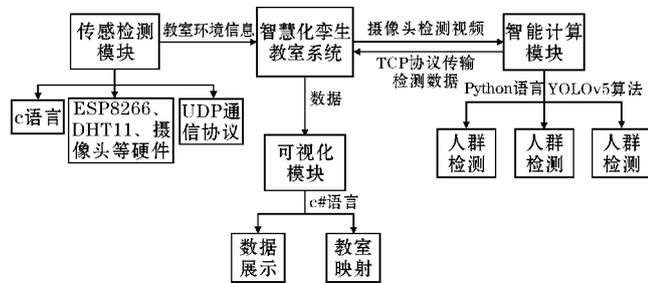


图 2 智慧化孪生教室的技术路线

该智慧化孪生教室原型系统主要包含 3 个模块:传感检测模块、智能计算模块和可视化模块。系统主要基于数字孪生、物联网、深度学习等技术实现,并涉及 ESP8266 串口无线 WiFi 模块、DHT11 温湿度传感器以及 UDP、TCP 通信协议等技术,通过 C 语言、Python 和 C#语言等编程语言实现。在教室映射及数据可视化展示方面,首先使用数字孪生技术搭建孪生教室模型,然后通过实时检测到的教室环境信息实现教室映射。同时,通过 UDP 通信方式将检测的数据传入智慧化孪生教室系统,再通过 C#脚本语言将数据展示在 UI 界面上,实现数据可视化。

1.1 传感检测模块

系统用到的传感检测硬件有摄像头、温湿度传感器,从而获取教室环境信息。采用像素精度可达 1080P 的单目摄像头,实现人群检测、性别识别和位置检测功能;温湿度检测利用 DHT11 温湿度传感器将环境中的温度和湿度等信息转化成电信号,再通过处理和输出获取实时数据,最后通过 ESP8266 串口 WiFi 模块进行数据传输。

1.1.1 摄像头检测

由于摄像头可以获取大量的视频信息,能够精准

快速地对目标进行检测、识别和跟踪,因此在人脸识别、智能安防、物流仓储、交通监控等领域得到了广泛的应用。摄像头采用的如图 3 所示单目摄像头,其像素精度可达 1080 P,实时帧率最高可达 30 FPS,能够满足本设计需求。摄像头能够为本系统的人群检测、性别检测和位置检测提供实时数据。



图 3 摄像头

1.1.2 温湿度检测

设计采用的温湿度传感器为图 4 所示的 DHT11 温湿度传感器。DHT11 是一款数字式温湿度传感器,广泛应用于各种需要测量室内温度和湿度的场合,例如家庭自动化、空调系统等。它可以通过数字信号输出实时温度和湿度数据,并且具有体积小、成本低等优点。

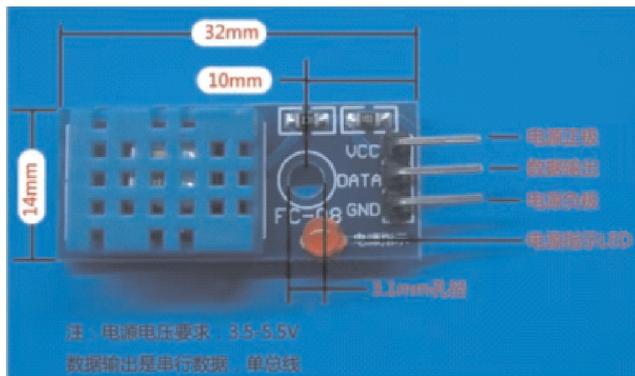


图 4 DHT11 温湿度传感器

DHT11 采用单总线数据交换通信方式,被称为 AM2302 协议的串行双线传输协议。其内部包含一个热敏电阻和一个湿度传感器,并连接一套模拟-数字转换电路和外部引脚。传感器可以分别测量周围环境中的温度和湿度信息,转化成相应的电信号。

设计主要使用图 5 所示的 ESP8266 串口 WiFi 模块,其功能是将 DHT11 温湿度传感器检测到的温湿度数据传输给系统用于可视化展示。



图5 ESP8266 串口 WiFi 模块

ESP8266 是一种低成本、高性能的 WiFi 串口模块。基于 Tensilica L106 芯片,集成了 802.11 b/g/n 无线网络支持和完整的 TCP/IP 协议栈,可用于物联网 (IoT)、智能家居等领域。ESP8266 串口 WiFi 模块可直接与外部控制器串口通信来实现数据传输,利用 ESP8266 模块的 WiFi 功能和与外部控制器的串口通信接口,实现物联网 IoT 系统或智能家居项目中对远程控制、数据采集和云平台连接等需求。同时,由于其开源的设计和具有较强的扩展性,可以在其基础上进行自定义的硬件和软件开发。本系统设计便是通过 ESP8266 与 DHT11 实现教室的温湿度检测,连接方式及具体实现步骤如图 6 和图 7 所示。

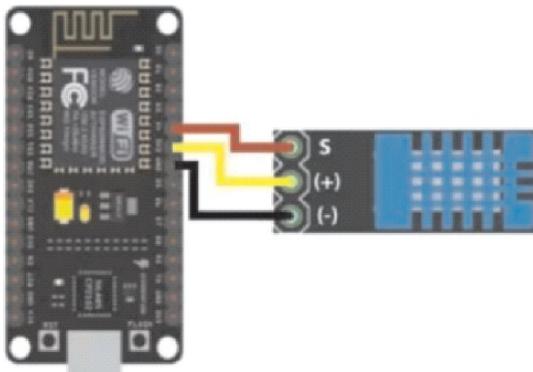


图6 ESP8266 与 DHT11 连接方式

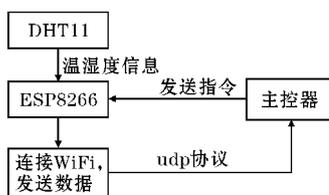


图7 温湿度检测流程

首先,主控器(电脑)通过串口向 ESP8266 发送指令,ESP8266 收到指令后,根据指令执行相应的操作,如连接 WiFi 网络、接收数据、发送数据等。最后 ESP8266 将执行结果通过 UART 串口返回给主控制器。整个过程中,ESP8266 与外部环境通信都基于 WiFi 无线信号

进行通信,所以主控器需要和 ESP8266 使用同一个 WiFi。数据传输主要通过 UDP 协议实现,本设计仅仅需要传输温湿度信息,UDP 协议实现这个功能且方式简单,只需要发送方和接收方使用相同的 IP 网络及端口号便可以进行数据的传输。

1.2 智能计算模块

系统采用 YOLOv5 算法,对传感检查获取到的教室环境信息进行智能计算。YOLOv5 在速度、精度、通用性和应用部署等方面的优势,为本系统人群检测、性别检测和位置检测功能的提供了重要技术支撑。

1.2.1 YOLOv5 算法优势

主要采用 YOLOv5 算法作为智能计算模块的主要算法,再融入其他算法实现系统的各种智能计算功能。YOLOv5 相对于其他常用的目标检测算法,如 SSD、Faster R-CNN、RetinaNet 等,优势有:更快的检测速度,YOLOv5 采用轻量级模型结构以及各种优化技术,能够在不降低精度的情况下使检测速度显著提升;更高的精度表现,通过使用更深、更宽的网络、更多的特征融合和数据增强等手段,YOLOv5 在保障检测速度的同时,也大幅度提升了检测精度,与当前主流算法相当甚至更好;更强的通用性,YOLOv5 通过数据增强来扩大训练集,改进数据预处理方式提升模型通用性,在各种场景下都有较好的适用性;更便捷的应用部署,YOLOv5 支持多种输出格式并且提供了 API 接口和便捷工具,可直接在嵌入式平台、移动终端等设备上进行部署,减小了部署成本和复杂度。

总之,YOLOv5 相比于其他检测算法而言,综合考虑了速度、精度、通用性和应用部署等方面的需求,具有非常明显的优势,所以本设计主要采用 YOLOv5 作为智能模块的主要算法。

1.2.2 人群检测

人群检测是计算机视觉领域的一个研究方向,主要通过图像处理和深度学习等技术在给定的场景下自动识别出人群的数量、密度等信息。YOLOv5 本身带有可识别人群的训练模型,在配置好环境后,运行 detect.py 文件便可以得到图 8 的结果。图中不同颜色的检测框对应不同的检测目标,红色框检测的是人,紫色框检测的是椅子,可以观察到检测框上的标注“person 0.75”,“person 0.58”,“cup 0.7”等。其中,前面单词表示检测目标的属性,如 person 代表人,cup 代表水杯;后面数字代表置信度(即检测的准确率),置信度的取值范围在(0,1),越趋近于 1 检测效果越好,在 YOLOv5 中默认只检测置信度大于 0.25 的目标。



图 8 检测结果图

虽然 YOLOv5 本身就可以实现对人的识别,但是没有统计检测目标的数量,需要设计算法去实现。本系统的人群检测功能需要检测并统计教室人数并且是摄像头实时检测,具体流程如图 9 所示。第一步修改 detect.py 文件将“parser.add_argument(‘--source’, type = str, default = ‘0’, help = ‘file/dir/URL/glob, 0 for webcam’);”中的 default 属性设置为 ‘0’,“default = ‘0’”表示程序调用摄像头检测。第二步添加检测计数功能,算法逻辑如图 10 所示。

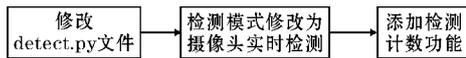


图 9 摄像头检测

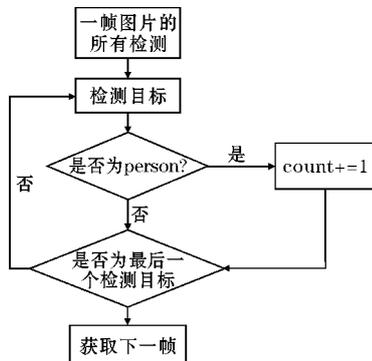
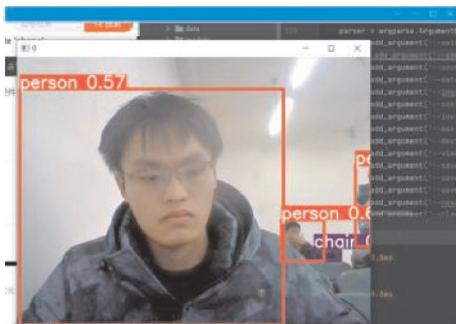


图 10 人数统计流程图

首先获取当前帧所有的检测目标,然后逐一判断是否为“person”,“是”就计数加 1,再判断是否为最后一个检测目标,“不是”就获取下一个检测目标,“是”就进行下一帧的检测。实验结果如图 11 所示,图 11(a)为摄像头实时检测可以准确识别出人,图 11(b)为添加计算功能后的检测结果,左上角的统计结果与实际结果符合。



(a) 摄像头检测



(b) 统计人数

图 11 人群检测结果

1.2.3 性别检测

YOLOv5 提供的模型没有做性别检测,需要重新训练模型。在训练之前,需要准备一个带有性别标注的数据集,并使用该数据集训练 YOLOv5 模型,使其学习到如何从图像中检测出人物并判断其性别。具体而言,在训练过程中,需要为每张图片提供带有性别标签的 Ground Truth 框(GT 框),然后使用 YOLOv5 模型进行训练优化,得到一组针对性别检测任务的模型参数。在测试阶段,给定一张待检测的图片时,YOLOv5 模型可以预测所有检测到的人物的性别,并将性别结果输出或可视化。

性别检测流程如图 12 所示,第一步收集数据集,数据集要涵盖各种场景、天气以及人不同的姿态,以便提高检测精度如图 13 所示。

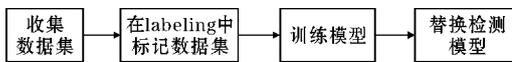


图 12 性别检测流程图

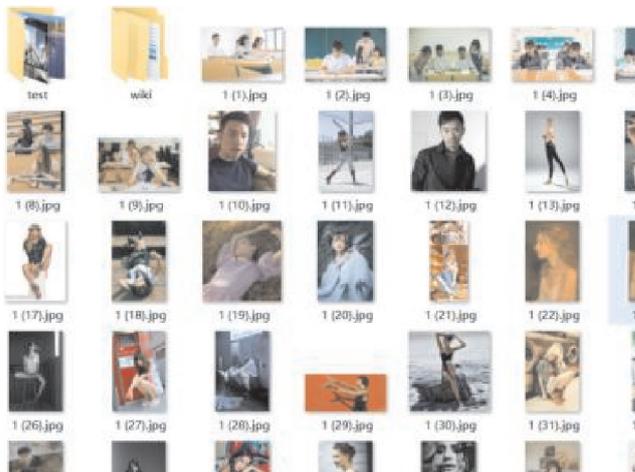


图 13 数据集

第二步是在 labeling 中标记数据集,具体方式如图 14 所示对应男性标注为 male,对应女性标注为 female。完成数据集的标注后会生成用于 YOLOv5 训练的.txt 文件如图 15 所示。



图 14 标记数据集

| 文件名 | 日期 | 文件类型 | 大小 |
|------------|-----------------|------|------|
| 1 (1).txt | 2023/3/31 14:04 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (2).txt | 2023/3/29 12:42 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (3).txt | 2023/3/29 12:43 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (4).txt | 2023/3/29 12:44 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (5).txt | 2023/3/29 12:44 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (6).txt | 2023/3/29 12:45 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (7).txt | 2023/3/29 12:45 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (8).txt | 2023/3/29 12:46 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (9).txt | 2023/3/29 12:46 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (10).txt | 2023/3/29 12:46 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (11).txt | 2023/3/29 12:46 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (12).txt | 2023/3/29 12:46 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (13).txt | 2023/3/29 12:46 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (14).txt | 2023/3/29 12:47 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (15).txt | 2023/3/29 12:47 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (16).txt | 2023/3/29 12:47 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (17).txt | 2023/3/29 12:47 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (18).txt | 2023/3/29 12:47 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (19).txt | 2023/3/29 12:47 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (20).txt | 2023/3/29 12:47 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (21).txt | 2023/3/29 12:47 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (22).txt | 2023/3/29 12:47 | 文本文件 | 1 KB |
| 1 (23).txt | 2023/3/29 12:48 | 文本文件 | 1 KB |

图 15 txt 文件

第三步将数据集导入 YOLOv5 并运行 train.py 文件进行训练,训练结束后生成 best.pt 和 last.pt 两个训练模型,best.pt 是最好效果的训练模型,last.pt 是最后一次训练得到的训练模型。本设计总共训练了数据集单位分别为 70 张、200 张、1200 张的模型,male 为男性标注数量,female 为女性标注数量,模型训练情况如表 1、图 16 所示,随着数据集数量的增加,训练时长逐

渐上升,训练效果也更好,当数据集为 1200 张时,在第 40 次训练便能使 mAP_0.5 的值达到 0.8 左右。mAP (mean average precision) 指的是平均精度均值,是衡量目标检测模型性能的常用指标之一。它综合考虑了模型在不同置信度阈值下精度和召回率,计算方法为所有类别的 Precision-Recall 曲线下面积 (AUC) 的平均值。通常情况下,mAP 越高代表着模型在目标检测任务中的性能越好。这里的 mAP_0.5 是指 IoU 取值为 0.5,计算出模型的 mAP 数值。

表 1 模型训练情况

| 数据集数量 | 训练次数 | 训练方式 | 训练时长/h |
|------------------------------|------|------|--------|
| 70 (male 95 female 86) | 100 | cpu | 1.994 |
| 200 (male 452 female 436) | 100 | gpu | 1.924 |
| 1200 (male 1537 female 1350) | 100 | gpu | 11.42 |

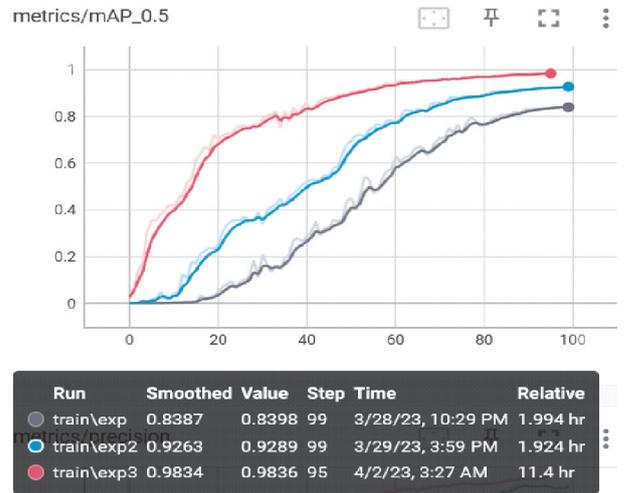


图 16 训练效果图

第四步将 YOLOv5 中的训练模型替换,运行 detect.py 得到运行结果如图 17 所示,检测效果较好,置信度基本在 0.8 以上。

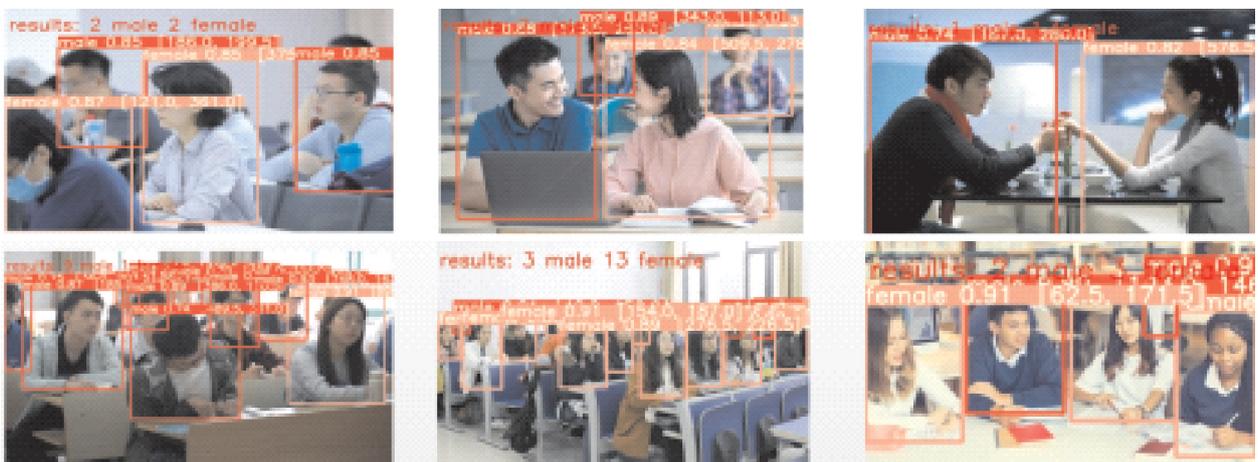


图 17 替换检测模型后的运行结果图

1.2.4 位置检测

设计通过检测目标到摄像头的距离、检测目标在图片中的中心像素坐标等数据来进行教室映射。首先获取检测目标到摄像头的距离,在 YOLOv5 中进行距离测量需要先获取目标物体的像素坐标及实际世界中该目标物体的尺寸信息,计算方法如下:

- (1) 获取目标物体在图像中的像素坐标。
- (2) 获取目标物体在实际世界中的尺寸:可以人工或其他通用测量设备获得目标物体现实世界中的尺寸,一般使用对象静止时的长度作为目标尺寸。
- (3) 确定相机参数:相机的焦距、光心、水平视野角等参数。
- (4) 通过三角形相似原理计算距离:假设目标现实尺寸已知,利用目标像素坐标和相机参数可构建三角形,计算目标到相机的距离。公式为

$$D = (F \times W) / h$$

式中: D 为检测距离代表检测目标的尺寸, W 代表相机焦距, h 为检测框的高度。

需要注意的是,在实际操作中,需要保证相机视角内的场景处于同一平面上,同时由于检测容易受光线干扰,计算结果可能存在误差,尽量保证检测环境明亮通透。完成算法后运行 detect.py 文件得到如图 18 的结果,检测结果与实际测量结果误差不大。



图 18 距离检测

1.3 教室映射方法

实现教室映射的第一步是搭建孪生教室,根据物理教室(图 19),利用 3Dmax 搭建对应的孪生教室(图 20),最后导入 Unity 中使用。

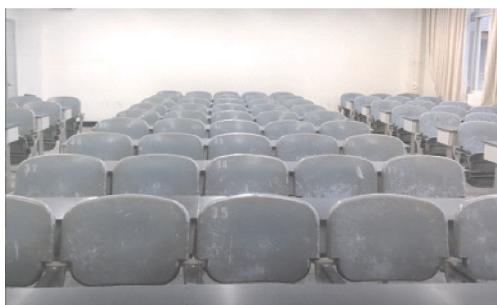


图 19 物理教室

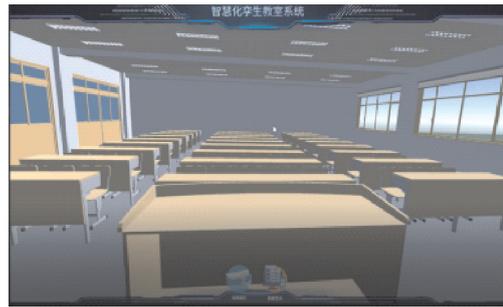


图 20 孪生教室

第二步根据位置检测获取的数据进行教室映射,原理如图 21 所示,Python 与 Unity 之间的数据传输方式采用 Socket 通信。在 Socket 通信中,客户端(Unity)和服务端(Unity)进程使用 Socket 建立起一个双向通信的流通道,使它们可以通过这个通道相互发送数据,具体来说,Socket 通信按照如下流程进行:

- (1) 服务器创建一个 ServerSocket 对象,并在指定的端口上监听客户端的连接请求。
- (2) 客户端创建一个 Socket 对象,并指定要连接的服务器的 IP 地址和端口号。
- (3) 当客户端连接成功后,服务器为客户端分配一个新的 Socket 对象,用来与该客户端进行通信。
- (4) 客户端和服务端进程使用各自的 Socket 对象(即 Socket 连接)读写数据,实现双向通信。

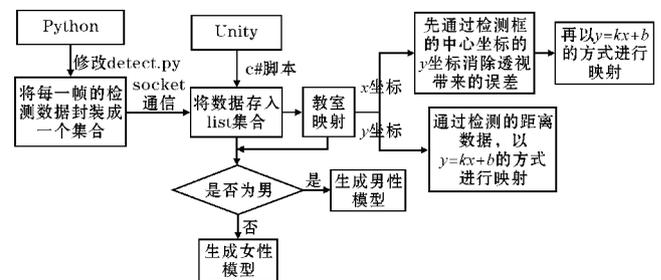


图 21 教室映射原理图

过程中,客户端和服务端通过 Socket 进行数据传输,使用输入输出流读写数据。如客户端想把一个字符串发送给服务器,可以将这个字符串写入客户端 Socket 对象的输出流;服务器向客户端发送信息,可将信息写入服务器 Socket 对象的输出流,然后由客户端从其输入流中读取信息。

在 Python 中通过 YOLOv5 检测获得的数据主要包含检测目标的总数、每个检测目标的中心坐标以及每个检测目标到摄像头的距离。教室映射主要是将物理教室与孪生教室进行横向与纵向的映射用于生成检测目标对应的模型,纵向映射主要通过检测距离来实现。将检测距离与孪生教室中的前后距离作映射,方程式为

$$y = kx + b$$

式中: y 是孪生教室中的纵向距离, x 是检测距离, k 为斜率, b 为常数。横向映射通过中心坐标的 x 坐标与孪生教室的横向距离进行一元一次映射,但由于透视影响横向映射相比与纵向映射则需通过中心坐标的 y 坐标来确定斜率 k 与常数 b ,其方式也是一元一次映射。

第三步是根据检测目标的性别属性对应生成不同性别的模型。

当教室映射完成后,运行 detect.py 文件,可以得到图 22 所示结果,智慧化孪生教室检测到的目标会在孪生教室中对应位置生成对应模型且映射效果良好,误差较小。



(a) 映射图 1



(b) 映射图 2

图 22 映射结果

1.4 数据可视化实现

数据可视化主要是将温湿度信息、性别比例、教室

总人数等信息可视化展示在孪生教室中。具体实现是通过 UDP 通信方式将检测的数据传入智慧化孪生教室系统,再通过 C#脚本语言将数据展示在 UI 界面上,最后效果如图 23 所示。温湿度、教室总人数、性别比例等数据展示在左上角的 UI 界面上,左下角的 UI 界面也可以通过另外一个摄像头获取教室录像,在孪生教室中也会根据检测目标对应生成模型。实验结果表明,整个智慧化孪生教室的技术路线已经完全实现,各项功能均已满足要求,性能良好,误差较小。

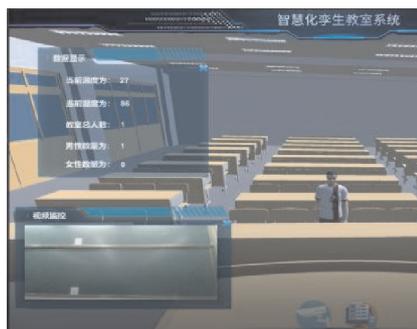
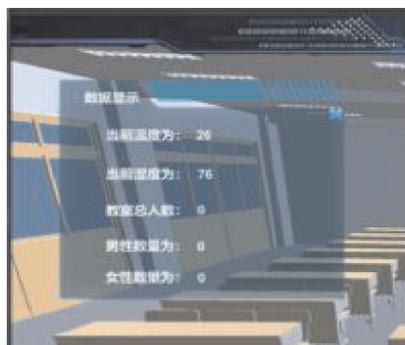


图 23 可视化展示

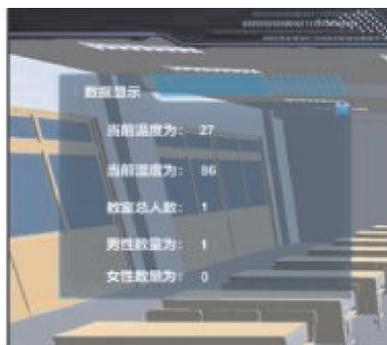
2 实验结果及分析

2.1 温湿度检测实验结果

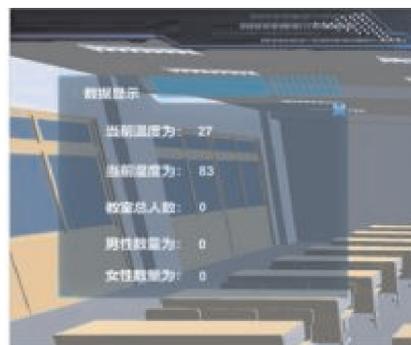
图 24 是温湿度检测的实验结果,温湿度传感器会实时检测教室的温湿度信息并将温湿度信息上传给系统,系统获取温湿度信息后将数据展示在 UI 界面上,数据延迟在 1 s 内确保系统的实时性。温湿度检测的实现可以便于老师根据教室的温湿度状况调节教室风扇、空调这些设备的运行状态,有利于教室资源的合理利用。



(a) 温湿度检测



(b) 温湿度检测



(c) 温湿度检测

图 24 温湿度检测结果

2.2 人群统计、性别检测、位置检测实验结果

图 25 包含人群统计、性别检测、位置检测的结果,在相同位置不同时刻的检测结果,置信度维持在 0.85

左右,检测帧率维持在 30 FPS,整个检测过程流畅,在孪生教室系统上生成的检测目标模型的位置与实际教室中检测目标的位置相符合。

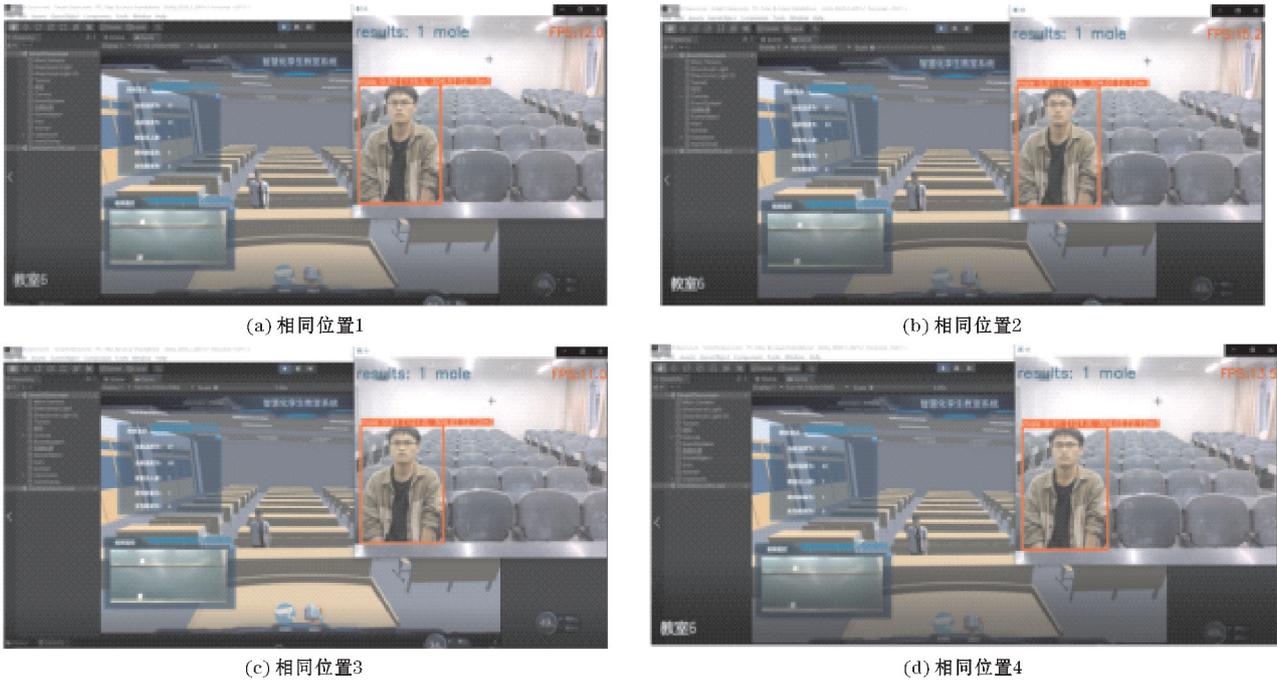


图 25 相同位置的人群统计、性别检测、位置检测结果

在不同位置不同时刻的检测结果如图 26 所示,当检测目标在不同位置时,系统能在孪生教室对应位置生成对应模型,且与物理教室中的目标位置相比误差

较小,且在检测目标移动过程中,系统的检测帧率能稳定在30 FPS,置信度维持在0.85左右,与相同位置的检测效果几乎没有差别,检测效果良好。

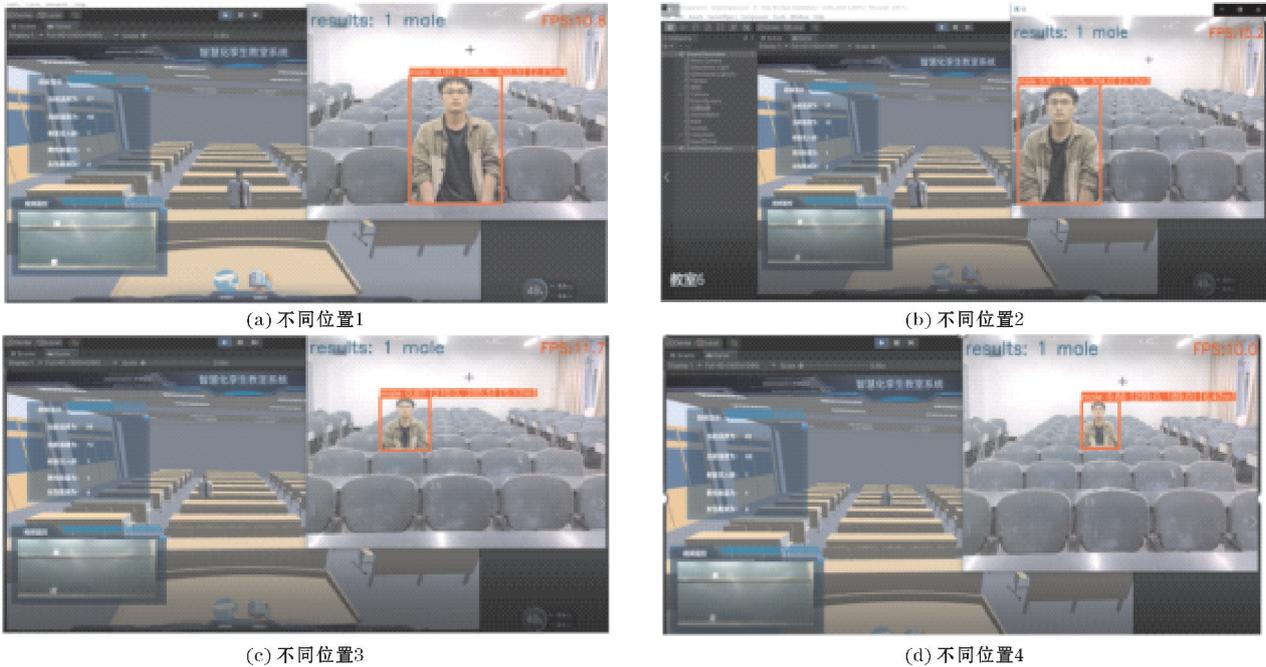


图 26 不同位置的人群统计、性别检测、位置检测结果

2.3 多人检测实验结果

图 27 是多人检测的效果,对于教室中多个检测目标,系统依然能够准确识别并生成对应的模型于孪生教室中,与单人检测相比较,多人检测可能会出现遮挡

的现象,可能导致漏检、检测框只涵盖检测目标部分躯体导致在孪生教室生成的模型位置定位不准的情况。整体上,多人检测在检测目标不相互遮挡、不遮挡五官的情况下,检测效果与单人检测基本相同。

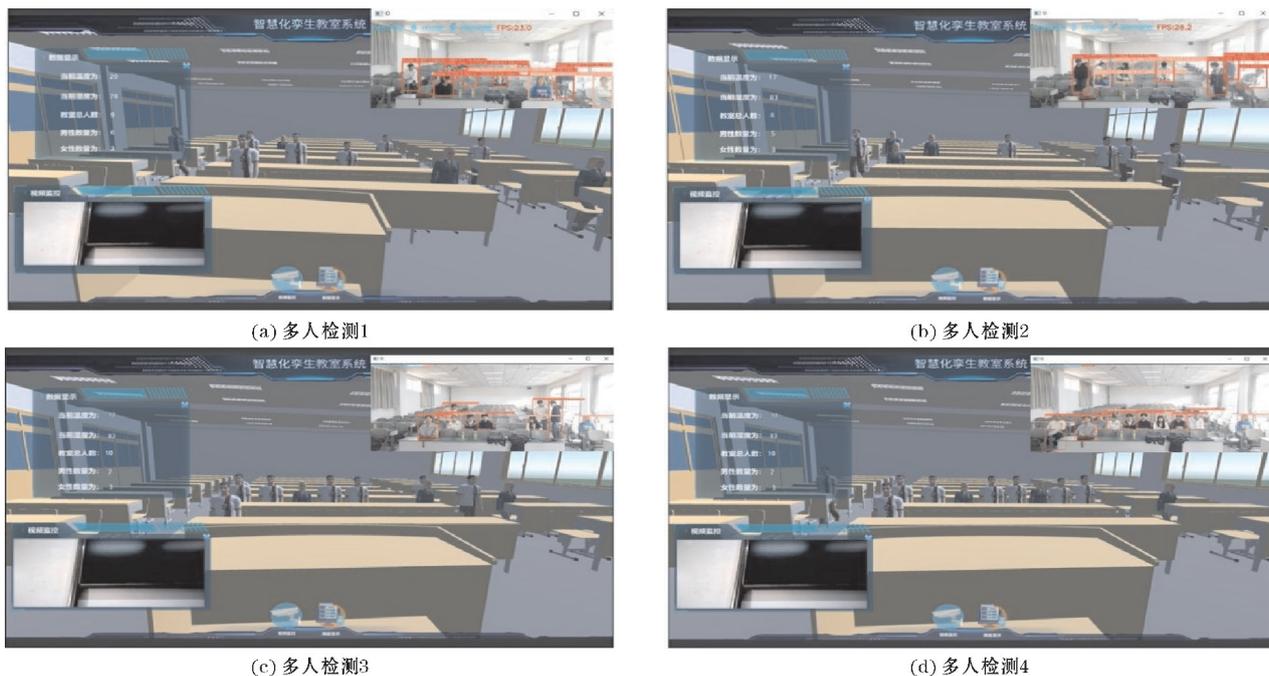


图27 多人检测结果

总之,智慧化孪生教室系统的整个技术路线均已实现,系统的温湿度检测功能可以实时检测教室温湿度信息且数据传输延迟在1 s内,便于教师或者管理员根据教室的温湿度情况及时调整教室设备运行状态,有利于教室资源合理运用。系统的智能计算模块可以统计教室人数、性别比例及检测目标的位置信息,且系统的性能稳定在30 FPS,保证了检测过程的稳定流畅。检测得到的数据会展示在UI界面上,这有利于教师随时查看教室中学生的状况,及时调整教学方案,在一定程度上提高了教学质量,除此之外,管理人员也可根据教室是否有人来控制教室设备的运行状态,从而提高教室资源的合理利用。

3 结束语

本文提出的智慧化孪生教室系统结合了数字孪生、传感检测、深度学习等技术,旨在解决目前教室智能化程度不够带来的教学效率低、教学资源浪费等问题。目前系统可实时获取教室温湿度信息,通过智能算法获取教室人数、性别比例、位置信息等数据,并通过教室映射将数据实时可视化展示在系统上,从而提高教师的管理效率以及教室资源的合理利用。尽管智慧化孪生教室系统在实现过程中还存在一些技术和安全问题需要解决,但是系统的出现已经为教育教学管理提供了新的思路和方法,为探索更加先进、高效、落地的数字化教育体系奠定了重要基础。

未来,智慧化孪生教室系统可以进一步结合人工智能技术,通过情感识别、面部特征识别等功能,更加深入地了解学生的学习状态和情绪变化,提供更加个性化的学习服务和支持,还可以与其他先进技术相结合,如物联网、大数据分析等,为教育教学提供更加全面、精准的数据支持和决策参考,帮助教育管理者制定更加科学、有效的教育政策。同时,未来还可以开发更多的功能模块,如交互式课堂、智能答题等,拓展系统应用场景,提高系统的功能性和实用性。

致谢:感谢成都信息工程大学基金(KYTZ202141)对本文的资助

参考文献:

- [1] 沈雯瑶,曾丽婷. 智慧化教室的优化策略研究[J]. 教育进展,2020,10(3):384-389.
- [2] Lu Jin, Wu Bo. A Smart Campus Implementation Architecture Based on Blockchain Technology[J]. Journal of Sensors,2022,2022.
- [3] Kaur Avneet, Bhatia Munish, Stea Giovanni. A Survey of Smart Classroom Literature[J]. Education Sciences,2022,12(2).
- [4] 焦惠,徐连荣. 2010-2020年我国智慧教室的研究热点与研究趋势[J]. 创新教育研究,2021,9(4):799-808.
- [5] 劳晶. 高校智慧教室建设的探索与研究[J]. 美化生活,2022(1):211-213.
- [6] 万见峰. 基于CANVAS@SJTU系统的智慧学习方

- 式研究[J]. 创新教育研究,2021,9(3):732-736.
- [7] 曾利. 高校智慧教室的建设与应用[J]. 移动通信,2022(7):3.
- [8] 陈秀富. 基于数字孪生的混合教学模式改革研究[J]. 软件工程,2020,23(6):3.
- [9] Niu Xiaobing. Deep-Learning-Guided Student Intelligent Classroom Management System. [J]. Applied bionics and biomechanics,2022.
- [10] Zhao Mingtao, Zhao Gang, Qu Meihong. College Smart Classroom Attendance Management System Based on Internet of Things [J]. Computational Intelligence and Neuroscience,2022.
- [11] 陶飞,刘蔚然,刘检华,等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统,2018,24(1):18.
- [12] 李志伟,陈瀚宁. 基于数字孪生的车间可视化系统设计与实现[J]. 计算机科学与应用,2021,11(9):2289-2301.
- [13] 刘青,刘滨,王冠,等. 数字孪生的模型、问题与进展研究[J]. 河北科技大学学报,2019,40(1):68-78.
- [14] Han Xu, Yu Hua, You Wenhao, et al. Intelligent Campus System Design Based on Digital Twin [J]. Electronics,2022,11(21).
- [15] 易国宪,熊淑华,何小海,等. 结合特征图谱学习的人数统计方法. 计算机应用,2018,38(12):3591-3595.
- [16] 张晓强,王迅,杨航,等. 基于智能视觉物联网的教室人数跟踪系统[J]. 图像与信号处理,2019,8(2):90-97.
- [17] 李秀明,武怀生. 基于MVC模式的高校公共教室预定系统设计[J]. 软件工程,2018,21(6):4.
- [18] Jose Aguilar, Jorge Cordero, Omar Buend. Specification of the Autonomic Cycles of Learning Analytic Tasks for a Smart Classroom [J]. Journal of Educational Computing Research,2018,56(6).
- [19] 陈氢,徐光明. 面向大数据的高校智慧校园系统构建研究[J]. 软件工程,2019,22(8):3.
- [20] Li Shing Huang, Jui Yuan Su, Tsang Long Pao. A Context Aware Smart Classroom Architecture for Smart Campuses [J]. Applied Sciences,2019,9(9).

Design and Development of Intelligent Twin Classroom System

LIU Xinran¹, ZENG Jiahong¹, LUO Sen², ZHENG Yongqiu², PU Guanzhen², LUO Dening¹

(1. College of Automation, Chengdu University of Information Technology, 610225, China; 2. College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, 610225, China)

Abstract: As an important part of the construction of a smart campus, smart classrooms provide important support for teaching informatization, digitalization, and intelligence. At present, in the process of building smart classrooms, there are problems such as low degree of classroom intelligence, untimely access to classroom environmental information, and insufficient utilization of teaching resources. Therefore, this paper designs and develops a prototype system of intelligent twin classrooms, aiming to efficiently improve the classroom environment monitoring and intelligent supervision capabilities. The system comprehensively adopts digital twin, deep learning, sensor detection, and other technologies, and designs and realizes three functional modules: data detection module, intelligent computing module, and visualization module. The data detection module collects classroom environment information through cameras and sensors and transmits data to the computer through UDP and TCP communication protocols for use by the intelligent computing module. The intelligent computing module mainly uses the YOLOv5 algorithm to detect the real-time video of the camera and intelligently calculate, identify the gender of students, count the number of people, detect the location, and other functions. Finally, by building a twin model of the classroom and digitally mapping it with the physical classroom, the data is visualized and displayed. The final results show that the system can detect classroom temperature and humidity in real-time, identify the number of students, gender ratio and location information, and visualize the detected data in real-time. The delay of the whole system is less than 1 s, and the frame rate is about 30 FPS, which can meet the application requirements of smart classrooms, and can be used for teachers to manage classrooms in real time, rationally use classroom resources, and improve the degree of intelligence of classrooms. So as to provide technical support for smart campus, which is of positive significance to promote the construction of smart campus.

Keywords: smart classroom; digital twin; deep learning; smart campus