

基于 LabVIEW 和深度视觉传感器的课堂智能管理系统^①



朱 艳, 谢忠志, 王 成, 覃伟芳, 方肃贤

(泰州职业技术学院 机电技术学院, 泰州 225300)

通信作者: 朱 艳, E-mail: xiaoyanzhu1985@163.com

摘 要: 为解决现有课堂过程管理手段比较落后, 系统功能比较单一的问题, 本文设计了一种集课堂考勤、课堂行为识别和管理、自主学习管理于一体的智能课堂管理系统. 该系统以深度视觉传感器 Kinect V2 为数据采集设备, 以 LabVIEW 为软件开发平台, 实现了基于人脸识别和移动设备定位相结合的课堂考勤功能, 基于骨架特征提取和 SVM 分类器的课堂行为识别和分析功能, 基于 MyEclipse 和 MySQL 数据库的学生自主学习管理功能. 实验表明, 该系统人脸识别签到的识别准确率达到 97%; 课堂行为识别精度达到 95% 以上; 数据库设计合理完善, 自主学习功能灵活可靠.

关键词: 深度视觉传感器; 课堂管理; 数据库; 行为识别; LabVIEW

引用格式: 朱艳, 谢忠志, 王成, 覃伟芳, 方肃贤. 基于 LabVIEW 和深度视觉传感器的课堂智能管理系统. 计算机系统应用, 2022, 31(7): 135-142. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/8586.html>

Intelligent Management System of Classroom Based on LabVIEW and Depth Vision Sensor

ZHU Yan, XIE Zhong-Zhi, WANG Cheng, QIN Wei-Fang, FANG Su-Xian

(Department of Mechatronics, Taizhou Polytechnical College, Taizhou 225300, China)

Abstract: To solve the problems that the existing classroom process management method is backward and that the functions of the current classroom management system are limited, this study designs an intelligent management system that integrates classroom attendance checking, classroom behavior recognition and management, and autonomous learning management. The system uses the depth vision sensor Kinect V2 as its data acquisition device and LabVIEW as its software development platform. It fulfills a classroom attendance checking function based on the combination of face recognition and mobile device positioning, a classroom behavior recognition and analysis function based on skeleton feature extraction and the support vector machine (SVM) classifier, and a student autonomous learning management function based on MyEclipse and MySQL database. The experimental results show that the recognition accuracy of the system for face recognition sign-in reaches 97% and its accuracy of classroom behavior recognition is more than 95%. The database design is reasonable and well established, and the autonomous learning function is flexible and reliable.

Key words: depth vision sensor; classroom management; database; behavior recognition; LabVIEW

随着社会的发展和教育的不断推进, 我国的教育事业取得了巨大的进步, 但是在教学管理过程中

仍然存在明显的不足^[1,2]. 现有的教学评价方法主要集中在课程考核结果分析方面, 即通过学生的考试成绩

^① 基金项目: 2019 年江苏省高等教育教改研究课题 (2019JSJG518); 江苏省高校自然科学研究面上项目 (20KJD510008); 泰州职业技术学院大学生创新创业训练计划 (YJDC2021029)

收稿时间: 2021-09-24; 修改时间: 2021-10-25; 采用时间: 2021-11-30; csa 在线出版时间: 2022-05-31

来反映学习和教学效果,而对教学过程的监控和反馈较少.课堂教学作为教学过程的主要手段,如何有效的记录学生的学习行为、学习热情和学习状态对于教师评估教学效果和提高教学方法异常重要.近年来,随着计算机技术和人工智能的快速发展,基于视觉传感器的人脸识别和人体行为识别应用日益广泛^[3-5].如何将视觉识别技术应用于课堂管理中,对于实现自动化、智能化和精准化的教学过程评价具有重要的意义^[6,7].

目前,已经出现了一些应用于课堂教学过程管理的系统,主要集中在学生的课堂行为识别上,即通过人脸识别和人体行为识别来反映学生的学习专注度和课堂教学效果.国内方面,王竑喜提出了基于图像采集和处理的学生课堂行为识别方法,研究了学生学习专注度与课堂行为之间的关系^[8].廖鹏等人设计了基于深度学习的课堂异常行为识别系统,通过VGG模型,对课堂上学生玩手机、睡觉、说话等注意力不集中行为进行了识别,得到了较高的检测精度^[9].党冬利构建了基于机器学习的课堂行为识别模型,对课堂上学生的举手、站立和听讲3种动作进行了识别,得到了较高的识别精度^[10].何秀玲等人从人体骨架数据中提取特征向量,通过深度学习算法进行课堂行为识别,得到了97%的识别精度^[11].国外方面,Wang等人提出了一种基于卷积神经网络的人体动作识别方法,该方法通过生成的深度运动映射图提取识别特征数据,输入CNN识别模型进行动作识别,识别精度达到了85%^[12].Shi等人提出了基于L2EMG特征融合的学生课堂动作识别方法,对课堂上7类常见动作进行了识别,得到了82%的识别精度^[13].综上所述,首先,现有的课堂管理系统主要以课堂行为识别为目标,没有将课堂考勤、教师教学管理以及学生自主学习管理融入其中,功能比较单一.其次,现有的课堂行为识别大多采用RGB传感器进行图像采集,行为特征提取困难,动作识别范围较窄,识别精度不高.因此现有的课堂管理系统满足不了现代教学管理智能化、自动化、精确化和集成化的需求.本文选用Kinect V2深度摄像头作为监控设备,采用LabVIEW虚拟仪器作为软件开发平台,设计了一种集课堂考勤、课堂行为识别和管理、自主学习管理于一体的智能课堂管理系统.

1 系统结构和功能组成

1.1 系统结构组成

系统结构如图1所示,课堂智能管理系统主要由

硬件部分和软件部分组成.硬件部分包括深度视觉传感器Kinect V2、计算机、移动设备和USB电缆,其中,Kinect V2用于实时采集人体彩色和深度图像,计算机用于安装系统所需的各种软件,移动设备用于学生课堂考勤和课外访问系统数据库进行自主学习,USB通讯电缆用于Kinect V2和计算机的连接.软件部分主要包括Kinect developer toolkit、LabVIEW、Matlab和MySQL.其中,Kinect developer toolkit作为Kinect V2传感器开发工具包,用于完成人脸跟踪和人体骨架提取.LabVIEW作为系统软件开发平台,用于完成系统的各种功能开发.Matlab主要用于完成机器学习算法的编制,从而实现人脸识别和学生课堂行为识别.MySQL作为数据库开发软件,用于完成系统所需各种数据的管理.MyEclipse用于实现移动设备和系统数据库的连接.

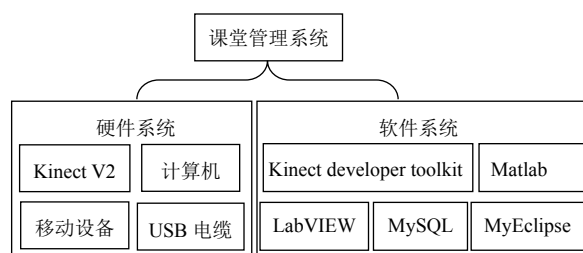


图1 系统结构组成

1.2 系统功能组成

系统功能如图2所示,主要由课堂考勤模块、课堂行为识别和管理模块和自主学习管理模块3部分组成.课堂考勤模块包括人脸识别签到功能和移动设备定位功能,其中,人脸识别签到功能可以防止学生找人替代签到,移动设备定位功能可以防止学生签到以后中途离场.课堂行为识别和管理模块包括课堂行为识别功能和课堂过程分析功能,其中课堂行为识别功能通过识别举手、起立、低头、趴桌、听讲等课堂动作来监控和记录学生的学习状态,课堂过程分析功能通过对记录的学习状态数据进行分析,来评价课堂教学质量和学习效果.自主学习模块包括学习资料上传功能、课后复习预习功能和学生作业管理功能3部分,其中,学习资料上传功能用于教师将课件、视频和习题等资料上传到数据库,课外复习预习功能用于课外时间学生根据自身需求自主选择所需的学习资料,学生作业管理功能用于学生课后作业的提交和批改.

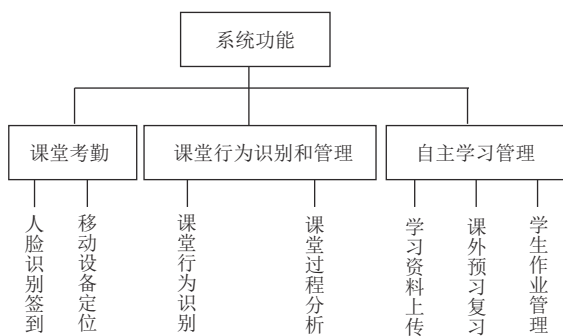


图2 系统功能组成

2 数据采集程序设计

在电脑上安装 Kinect SDK 和 Kinect driver 后, LabVIEW 即可通过调用 DLL 文件的方式调用 Kinect V2 摄像头采集到的各种图像信息. 图3为数据采集程序框图, 可以获得人体 25 个骨架节点以及 3 个头部转角数据. 初始化.vi 为初始化函数, 用于初始化外部 DLL

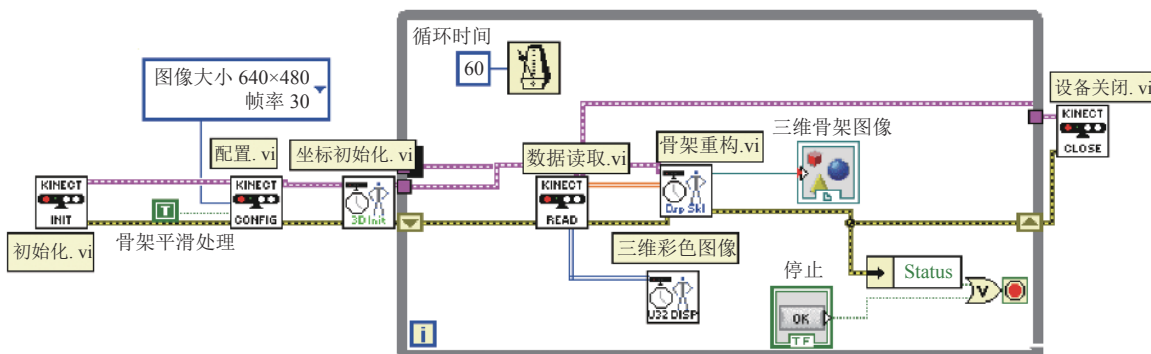


图3 图像采集程序框图

3.1.1 人脸识别签到

人脸识别签到流程如图4所示, Kinect SDK 中提供了用于人脸跟踪的功能模块 (face tracking), 该模块通过 AAM 算法可以实现人脸实时跟踪并提取 121 个脸部特征点. 本文选取其中的 10 个面部特征点如表1所示, 并将 10 个点的最大外接矩形用来分割图像中的人脸部分如图5所示, 然后采用局部二值式 (LBP) 方法提取面部局部特征向量, 最后输入最近邻算法模型进行身份识别. LBP 算子提取面部特征程序和直方图最近邻算法识别通过 Matlab 软件编程完成, LabVIEW 提供了专门用于和 Matlab 通讯的 Matlab script 节点, 通过该节点可以很灵活的在 LabVIEW 中调用

接口, 调用 Kinect developer toolkit 中的图像数据, 并返回一个引用句柄. 配置.vi 为采样配置函数, 用于设置图像类型、分辨率、帧率、平滑类型等. 坐标初始化.vi 函数用于建立骨架显示的三维坐标系. 数据读取.vi 用于读取二维彩色图像和三维深度图像数据. 骨架重构.vi 为渲染输出函数, 用于更新骨架节点三维显示. 设备关闭.vi 用于关闭 Kinect V2 的外部 DLL 调用接口.

3 系统功能设计

3.1 课堂考勤

课堂考勤可以有效提高学生的到课率, 帮助班级营造良好的学习氛围, 增强学生的组织性和纪律性. 现有的考勤措施大多采用教师点名的方式进行, 这样不仅会浪费大量的教学时间, 而且学生可以通过人员替代或中途离场的方法蒙混过关. 本文采用人脸识别签到^[14,15]和移动设备定位相结合的方式来实现课堂考勤, 可以有效解决上述问题.

Matlab 程序.

在不同的表情, 光照和角度下, 摄像头采集到的人脸图像变化较大, 若直接使用线性方法对原始图像进行特征提取, 则识别精度和稳定性会大大降低. 由于脸部局部特征受外部条件的影响较小, 为此本文选取等价模式 LBP 算子提取面部识别特征, 选取基于直方图的最近邻分类算法进行身份识别. 由于图像中信息的分布不均匀, 因此本文选取加权卡方统计方法对直方图进行度量, 这样可以有效解决图像信息不均匀造成的影响, 提高识别精度. 算法流程如下:

- (1) 将检测窗口划分为 16×16 的小区域.
- (2) 对于任一小区域中的像素, 将相邻的 8 个像素

的灰度值与其进行比较,若周围像素值大于中心像素值,则该像素点的位置被标记为1,否则为0.这样,3×3邻域内的8个点经比较可产生8位二进制数,即得到该窗口中心像素点的LBP值.

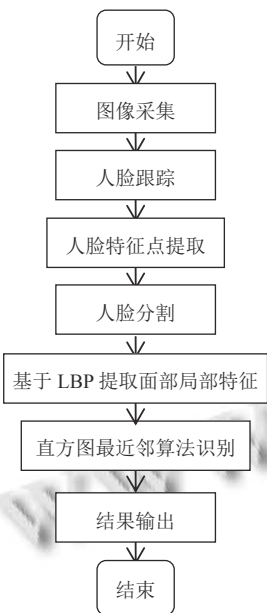


图4 人脸识别签到流程图

表1 用于人脸分割的10个面部特征点标号和名称

标号	名称	标号	名称
35	额头中心	15	左眉外角
48	右眉外角	32	下巴左角
65	下巴右角	30	颌骨左角
63	颌骨右角	10	下巴底部
28	左耳与面部下接触点	61	右耳与面部下接触点

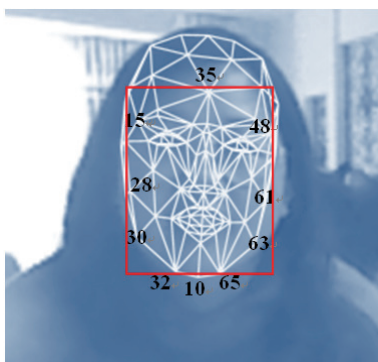


图5 脸部特征点分布和人脸分割效果

(3) 计算每个小区域的直方图,即每个数字出现的频率.

(4) 采用加权卡方统计方法对直方图进行度量,如式(1)所示,式中, S_i 和 M_i 为两个不同样本的直方图,两

个样本之间的 $\chi^2(S, M)$ 越小,那么这两个样本之间的相似度就会越高.计算分块处理后的测试样本LBP直方图特征和训练样本LBP直方图特征的 $\chi^2(S, M)$ 值,根据最近邻准则,将其划分为 $\chi^2(S, M)$ 值最小的那一类.

$$\chi^2(S, M) = \sum_i \omega_i \frac{(S_i - M_i)^2}{(S_i + M_i)} \quad (1)$$

识别结果如表2所示,可以发现,LBP算子尺度增大,人脸识别精度变高,但是消耗的识别时间越长.为同时保证识别精度和系统实时性要求,本文选取 $LBP_{2,16}^{\mu_2}$ 尺度进行计算,其识别精度达到97%,识别时间为96.7 ms.相对于现有识别技术,本文采用的基于深度视觉传感器的人脸识别方法,可以实现更好的人脸跟踪效果,更快的跟踪速度和更高的人脸识别精度.

表2 不同LBP算子尺度时人脸识别结果比较

LBP算子尺度	$LBP_{1,8}^{\mu_2}$	$LBP_{2,8}^{\mu_2}$	$LBP_{1,16}^{\mu_2}$	$LBP_{2,16}^{\mu_2}$
测试样本个数(个)	100	100	100	100
识别正确个数(个)	82	91	88	97
识别准确率(%)	82	91	88	97
识别时间(s)	0.0782	0.0924	0.0885	0.0967

3.1.2 移动设备定位

移动设备定位流程如图6所示,学生通过人脸识别签到进入教室后,将随身携带的移动设备(手机)的WiFi打开,系统开始搜索每台移动设备的AP信息,并且获取无线信号强度值,将获取的信号强度和所设置的阈值大小进行比较,判断该移动设备是否处于有效范围内,进而判断携带该设备的学生是否在教室听课,这样可以有效防止学生签到后中途离开教室.

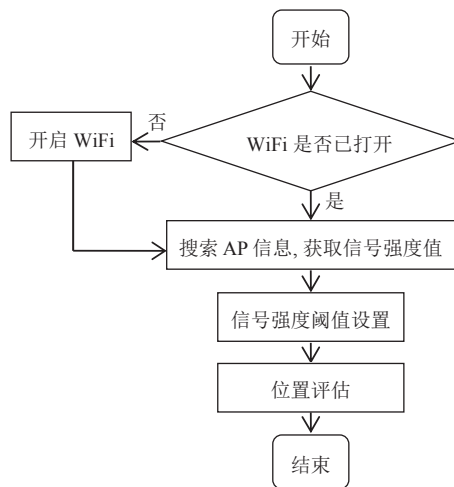


图6 移动设备定位流程图

3.2 课堂行为识别和管理

3.2.1 课堂行为识别

现有的课堂行为识别大多是采用 RGB 摄像头来进行图像采集, 图像质量受光线、视角、距离影响较大, 鲁棒性和识别精度较差^[16,17]. 深度摄像头可以采集到人体的三维坐标数据, 并且提取出人体骨架信息, 对光线、视角、距离变化不敏感, 而人体骨架数据对于人体动作又具有极好的识别性, 因此本文选取深度摄像头 Kinect V2 进行图像采集, 提取到的人体骨架节点分布如图 7 所示.

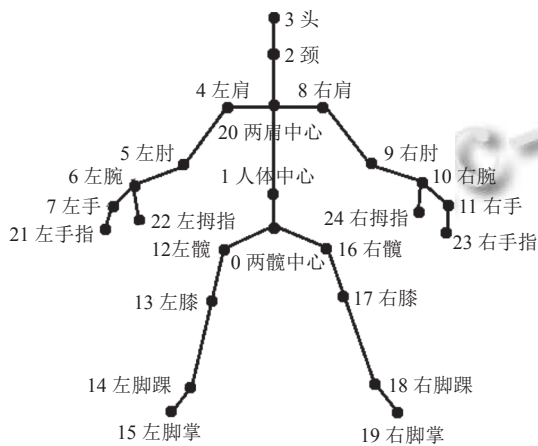


图 7 人体骨架节点分布图

由于课桌的遮挡, 1 号节点(人体中心)以下的 9 个节点不在视野范围之内, 因此忽略掉. 21、22、23、24 号 4 个节点为手指节点, 对于学生课堂动作识别性不高, 因此也忽略掉. 剩下的 12 个节点中, 相邻的两个节点可以组成一个动作结构向量, 这样得到 11 个动作结构向量. 相邻的两个动作结构向量可以形成一个向量角, 这样得到 9 个向量角. 人体的动作变化和这 9 个向量角息息相关, 因此选取 9 个向量角作为学生课堂行为识别特征数据. 11 个动作结构向量的组成节点和 9 个向量角的组成向量, 如表 3 所示.

学生上课注意力是否集中很大一部分可以通过头部动作来体现, 但是抬头、低头、偏头和摇头动作对 9 个特征向量角的变化并不明显, 很容易引起误判. 本文引入 face tracking SDK 中提供的头部转角识别功能, 如图 8 所示, 其中 Pitch 为低头和抬头角度 θ_P 识别, 识别角度范围 -45° 至 45° , Roll 为左右偏头角度 θ_R 识别, 识别角度范围 -90° 至 90° , Yaw 为左右摇头角度 θ_Y 识别, 识别角度范围 -45° 至 45° . 将 θ_P 、 θ_R 、和 θ_Y 作为行为识别特征数据.

表 3 动作结构向量和向量角的组成

向量名称	组成节点	向量角名称	组成向量
\vec{a}	6、7	θ_1	\vec{a} 、 \vec{b}
\vec{b}	5、6	θ_2	\vec{b} 、 \vec{c}
\vec{c}	4、5	θ_3	\vec{c} 、 \vec{d}
\vec{d}	4、20	θ_4	\vec{d} 、 \vec{e}
\vec{e}	20、8	θ_5	\vec{e} 、 \vec{f}
\vec{f}	8、9	θ_6	\vec{f} 、 \vec{g}
\vec{g}	9、10	θ_7	\vec{g} 、 \vec{h}
\vec{h}	10、11	θ_8	\vec{h} 、 \vec{j}
\vec{i}	20、2	θ_9	\vec{i} 、 \vec{k}
\vec{j}	2、3		
\vec{k}	1、20		

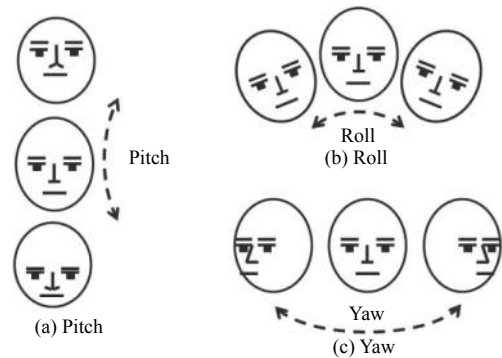


图 8 Kinect V2 头部识别示意图

如果学生的手部动作和头部角度变换不大, 则很难正确识别出学生处于站立状态还是坐立状态, 但此时学生头部节点(3号)距离地面的高度 d_h 的变化却非常明显, 因此选取 d_h 作为行为识别特征数据. 由于 Kinect V2 不直接提供 d_h 的大小, 因此需要自行计算. 人体的左右脚掌骨架节点 15、19 和地面接触, 因此将这两个节点的高度默认为零, 并以此建立地面方程. 首先将 15 和 19 节点的坐标代入式 (2), 先计算出地面方程和 Kinect 之间的倾角 θ , 进而确定出地面方程.

$$\begin{cases} Ax + By + Cz + D = 0 \\ A = 0 \\ B = \cos \theta \\ C = \sin \theta \\ D = 1.5 \end{cases} \quad (2)$$

地面方程确定以后, 将 3 号头部节点坐标代入式 (3) 即可计算出头部距离地面的高度 d_h .

$$d_h = \frac{|Ax_i + By_i + Cz_i + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (3)$$

构建课堂行为识别特征向量 $G=(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7, \theta_8, \theta_9, \theta_P, \theta_R, \theta_Y, d_h)$, 并将其输入基于径向基核函数 (RBF) 的支持向量机分类器 (SVM)^[18], 因为 RBF 核可以将样本映射到一个更高维的空间, 可以处理当类标签 (class labels) 和特征之间的关系是非线性时的样例, 因此非常适用于课堂行为识别这类复杂的非线性分类问题. 核函数可由式 (4) 表示, 式中 δ 为函数的宽度参数, 用来控制函数的径向作用范围. 对趴桌、低头、站立、举手、听课 5 类课堂行为样本数据进行训练识别, 各类动作样本个数均为 200, 训练样本所占比例分别为 0.2、0.4、0.6 和 0.8, 其余作为测试样本. 各类动作识别精度如表 4 所示, 可以发现随着训练样本所占比例的增大, 识别精度会随之增加, 本文方法对 5 种动作的识别精度都在 92.5% 以上, 其中站立和举手动作的识别精度达到 100%. 本文采用基于深度视觉传感器的课堂行为识别, 以提取的人体骨架节点和头部转角数据为基础构建行为识别特征向量, 通过径向基核函数的支持向量机构建识别模型, 其鲁棒性、识别精度和识别速度都优于现有课堂行为识别技术.

$$K(x, x_i) = \exp\left(-\frac{\|x - x_i\|^2}{\delta^2}\right) \quad (4)$$

表 4 不同样本比例时各种课堂行为的识别精度

动作类型	0.2	0.4	0.6	0.8
趴桌	0.925	0.933	0.950	0.950
低头	0.863	0.900	0.913	0.925
站立	0.993	1.000	1.000	1.000
举手	0.975	0.983	0.988	1.000
听课	0.863	0.875	0.925	0.925

3.2.2 课堂过程分析

每个学生的课堂活跃度是衡量课堂教学效果的一个重要指标^[19], 系统自动记录每个学生课堂举手次数 f_h 和起立回答问题次数 f_a , 每次回答问题后, 教师会根据回答情况给出满意度系数 ω_a , 根据式 (5) 计算出学生课堂活跃度 P , 式中, ω_p 为活跃度加权系数, 其值越大表示举手对于课堂活跃度影响越大. 本文选取 $\omega_p = 0.4$.

$$P = \omega_p \times \frac{f_h}{F} + (1 - \omega_p) \times \omega_a \times \frac{f_a}{F} \quad (5)$$

课堂整体学习态势是对每个学生学习专注度进行分析, 对于教师评估教学效果具有重要意义. 系统选取 10 s 作为一个记录区间, 记录每个学生趴桌和低头的时长, 如果多于 3 s 则认定该生处于非专注状态, 记录

每个学生的非专注时间长度 t_a . 通过式 (6) 计算课堂整体专注度 C , 式中, k 表示课堂中学生的个数, t 表示每节课时长, $\sum_{i=1}^k t_a(k)$ 表示所有学生的非专注时间总和.

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k t_a(k)}{k \times t} \quad (6)$$

3.3 自主学习管理

自主学习管理^[20] 包括学习资料上传、课后复习预习和学生作业管理 3 部分. 教师通过学习资料上传功能, 可以将上课所需的视频或者文档资料上传到服务器, 并保存到相应目录的数据库中, 方便学生课前预习或课后复习. 学生可以通过作业管理功能提交老师布置的作业, 教师也可以通过该功能实现作业在线批改和答疑. 学习资料上传功能和作业管理功能中的文件上传流程如图 9 所示, 浏览文件选择需要上传的文件, 通过断点传输方式上传资料到服务器, 如果文件类型为 Excel 格式, 则系统读取表格内容并保存至数据库, 如果文件格式为视频或文档, 则直接保存文件路径至数据库.

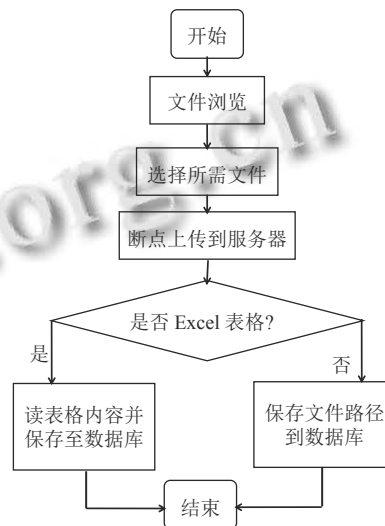


图 9 学习资料上传和作业管理功能中的文件上传流程

课后复习预习功能主要为了满足课外时间学生自主学习需要, 学生可以通过服务器自由选择系统数据库中的视频和文档资料, 自主学习流程如图 10 所示, 如果选择的学习内容为文档形式, 学生可以根据需要选择在线学习或者离线学习, 在线学习直接使用外部应用程序加载文档内容, 离线学习是通过断点传输方

式将文档资料下载到移动设备. 如果选择的学习内容为视频形式, 则通过移动设备中的多媒体播放器加载并播放视频内容.

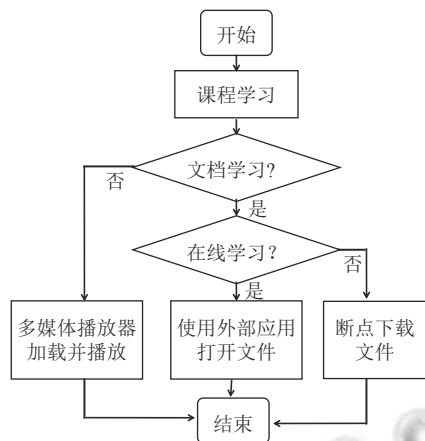


图 10 学生自主学习流程

4 数据库设计

系统运行过程中涉及到大量数据的查询和存储, 因此数据库的设计对系统正常运行起着至关重要的作用, 本文设计的 MySQL 数据库中的部分数据表结构如表 5 所示, 主要包括学生信息字段、学习资料信息字段、考勤记录信息字段和课堂行为管理信息字段.

表 5 系统数据库结构表

信息类型	字段名称	字段类型	字段长度	字段说明
学生信息	account_num	varchar	50	账号
	password	varchar	50	密码
	name	varchar	30	姓名
	student_num	varchar	20	学号
	phone_num	varchar	20	手机号码
课程资料信息	Course_name	varchar	50	课程名称
	file_type	varchar	50	文件类型
	File_path	varchar	50	文件路径
考勤记录信息	WIFI_name	varchar	50	WiFi名称
	WIFI_intensity	varchar	20	信号强度
	Sign_in	Bool	4	是否签到
	half_way	Bool	4	是否中途离场
课堂行为管理信息	Sign_time	datetime	50	签到时间
	action_type	varchar	20	课堂动作类型
	action_time	datetime	50	动作发生时间
	Action_duration	time	50	动作持续时间
	activity	float	20	课堂活跃度
concentration	float	20	课堂专注度	

系统通过 LabSQL 实现 LabVIEW 和 MySQL 数据库之间的连接, LabSQL 是一个免费的、多数据库、

跨平台的 LabVIEW 数据库访问工具包, LabSQL 利用 Microsoft ADO 对象和 SQL 语言来完成数据库访问, 将复杂的底层 ADO 及 SQL 操作封装成一系列的 LabSQL VIs, 简单易用. 首先建立与数据库的连接, 然后生成 SQL 命令, 执行命令, 最后断开与数据库之间的连接.

移动设备端采用 Android 平台进行开发, 但是 Android 移动客户端没办法直接访问 MySQL 中的数据, 因此系统通过 MyEclipse 作为“中转”实现两者之间的连接. MyEclipse 作为企业级工作平台, 内置所有的 Web 开发技术, 支持快速添加技术功能到 Web 项目中. 系统通过 MyEclipse 开发 Web 程序, 通过共用 Android SOAP 方法来访问数据库.

5 结论

教育的不断发展对教学评价体系和教学管理体系提出了更高的要求, 现有的评价体系和管理体系已成为阻碍教育发展的一大因素. 虽然出现了一些课堂智能管理系统, 但是功能比较单一, 适应性不强. 本文提出了一种集课堂考勤、课堂行为识别和管理、自主学习管理于一体的课堂智能管理系统. 通过人脸识别和移动设备定位相结合的方式实现了 97% 的课堂考勤精度. 通过骨架节点数据提取识别特征向量, 并输入 SVM 分类器实现了 95% 以上的课堂行为识别精度, 并给出了课堂活跃度 P 和专注度 C 的评估方法. 通过 MyEclipse 和 MySQL 数据库完成了自主学习功能开发, 方便了学生课堂学习和课外学习有机结合, 且系统运行稳定可靠. 本文设计的课堂智能管理系统对教学过程的科学评价以及课堂管理的智能化和自动化具有重要意义.

参考文献

- 胡小玲. 高校课堂管理现状及对策分析. 扬州大学学报 (高教研究版), 2018, 22(3): 114-120.
- 尹春丽. 中职学校数学课堂教学管理现状及对策探析. 教育教学论坛, 2020, (10): 17-19.
- 陈斌. 基于新技术的智慧课堂管理系统设计研究. 数字技术与应用, 2020, 38(10): 142-143.
- Mille J, Leborgne A, Tougne L. Euclidean distance-based skeletons: A few notes on average outward flux and ridgeness. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2019, 61(3): 310-330. [doi: 10.1007/s10851-018-0836-7]
- Ghorbel E, Boutheau R, Boonaert J, et al. Kinematic spline

- curves: A temporal invariant descriptor for fast action recognition. *Image and Vision Computing*, 2018, 77: 60–71. [doi: [10.1016/j.imavis.2018.06.004](https://doi.org/10.1016/j.imavis.2018.06.004)]
- 6 Pan MY, Wang J, Luo ZY. Modelling study on learning affects for classroom teaching/learning auto-evaluation. *Science*, 2018, 6(3): 81–86.
- 7 Zaleteš J, Košir A. Predicting students' attention in the classroom from Kinect facial and body features. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2017, 2017: 80. [doi: [10.1186/s13640-017-0228-8](https://doi.org/10.1186/s13640-017-0228-8)]
- 8 王竑熹. 学生课堂行为视频图像采集和识别系统. *发明与创新(中学生)*, 2018, (6): 34–35.
- 9 廖鹏, 刘宸铭, 苏航, 等. 基于深度学习的学生课堂异常行为检测与分析系统. *电子世界(中学生)*, 2018, (8): 97–98.
- 10 党冬利. 人体行为识别及在教育录播系统中的应用 [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2017.
- 11 何秀玲, 杨凡, 陈增照, 等. 基于人体骨架和深度学习的学生课堂行为识别. *现代教育技术*, 2020, 30(11): 105–112. [doi: [10.3969/j.issn.1009-8097.2020.11.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-8097.2020.11.015)]
- 12 Wang PC, Li WQ, Gao ZM. Large-scale continuous gesture recognition using convolutional neural networks. 2016 23rd International Conference on Pattern Recognition. Cancun: IEEE, 2016. 13–18.
- 13 Shi YF, Wei YT. Student body gesture recognition based on fisher broad learning system. *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, 2019, 17(1): 1950001. [doi: [10.1142/S0219691319500012](https://doi.org/10.1142/S0219691319500012)]
- 14 王治强, 孙晓东, 杨永, 等. 人脸识别算法在考勤系统的应用. *计算机系统应用*, 2021, 30(1): 89–93. [doi: [10.15888/j.cnki.csa.007755](https://doi.org/10.15888/j.cnki.csa.007755)]
- 15 何玲. 基于人脸识别的高校考勤系统研究. *中小企业管理与科技*, 2020, (35): 86–87.
- 16 杨赛烽, 高彬, 冯仕民, 等. 基于三维骨骼节点的人体行为识别方法. *传感技术学报*, 2018, 31(12): 1834–1841.
- 17 Ghazal S, Khan US. Human posture classification using skeleton information. 2018 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET). Sukkur: IEEE, 2018. 1–4.
- 18 黄潇逸. 基于骨骼关节点投影特征的人体行为识别方法. *现代计算机*, 2019, (36): 3–7. [doi: [10.3969/j.issn.1007-1423.2019.36.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-1423.2019.36.001)]
- 19 冯华. 高校学生学习效果评价方式革新探究——以广告学专业为例. *教育现代化*, 2019, 6(89): 195–196.
- 20 李善勇. 基于智能手机平台的大学高效课堂构建. *中国教育信息化*, 2021, (1): 67–71.

(校对责编: 孙君艳)