



基于手指静脉识别的艺术实验教学 智慧监管系统

张 擎¹, 赵云龙^{2*}

(1. 山东大学 艺术学院, 济南 250100; 2. 山东大学 工程训练中心, 济南 250002)

摘要: 当前艺术实验教学中缺乏兼顾安全监管和智慧决策的信息化管理手段。在主流的信息安全技术中, 手指静脉识别技术具有活体识别、准确率高、使用方便等优势, 适应艺术实验教学监管应用场景。该文提出结合软特征的手指静脉识别算法, 进一步提升了识别性能。在此基础上, 研究实现艺术实验教学智能监管系统, 在实现实验教学监管的同时辅助管理决策, 有效解决了监管中普遍存在的问题, 全面提升了监管水平。

关键词: 艺术实验教学; 智慧监管; 手指静脉识别; 软特征

中图分类号: TP391

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20220428

Intelligent Supervision System of Art Experiment Teaching Based on the Finger Vein Recognition

ZHANG Qing¹, ZHAO Yunlong^{2*}

(1. Fine Art School of Shandong University, Jinan 250100, China; 2. Engineering Training Center of Shandong University, Jinan 250002, China)

Abstract: In the art experiment teaching process, the safety supervision and intelligent decision-making means based on the information technology are missing. Among the mainstream safety techniques, finger vein recognition has the advantages of living body recognition, high accuracy and convenience, which adapt to the application of art experiment teaching supervision. This paper proposes a novel finger vein recognition method combing traditional methods with soft biometrics to improve the recognition performance. Based on the novel method, an intelligent supervision system of art experiment teaching is proposed, which assists the management decision-making while realizing the experiment teaching supervision. The system effectively solves the common problems and comprehensively improves the supervision.

Key words: art experiment teaching; intelligent supervision; finger vein recognition; soft biometrics

1 问题分析

实验教学的监管关系到实验教学活动能否顺利进行, 国家财产能否免受损失, 实验室使用人员的人身安全能否得到保障, 对广大高校的安全稳定至关重要^[1]。艺术学科的实验, 多以艺术实践的形式开展^[2-3], 具有其特殊性, 归纳起来有以下 4 点。

1) 艺术实践教学与理论教学的关系与其他学科有较大区别。美术、器乐表演、声乐表演等艺术类专业实践教学贯穿于理论教学的每一个

节, 与理论教学密不可分。

2) 艺术实践教学形式与其他学科有较大区别。声乐表演、器乐表演等音乐表演类专业中, 实践教学多以“一个老师面向一个学生”的“一对一”教学模式为主。因此, 一个实践课程(如“美声”)面向每一个老师分为多个子课程, 同一个老师的子课程又需要安排不同的学生在不同的时间进行。所以实践教学课程具有子课程多而密集、同一课程时间地点相对分散的特点。

3) 部分艺术实践教学过程具有更大的灵活

收稿日期: 2022-07-08; 修回日期: 2024-03-04

基金项目: 基于开放共享的信息技术实践平台与课程体系建设(SY20232303)。

作者简介: 张擎(1982-), 女, 博士, 高级实验师, 主要从事机器学习、生物特征识别、实验室管理方面的研究。

*通信作者: 赵云龙(1988-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事通信与信息系统方面的研究。E-mail: zhaoyunlong@sdu.edu.cn

性。乐团演出排练、展览设计等实践教学活动中临时性强, 且随着实践内容的不断优化, 实践活动的时间、地点和人员均存在灵活变动。

4) 艺术实践教学使用的乐器、画具等实践资源的使用者较为固定, 私属性强, 需要进行安全管理。

专人监管、定期检查等传统监管模式存在人力不足、安全性差、人为主观性强等诸多弊端, 且缺乏对监管数据进行高效存储和智能分析的手段。目前, 越来越多的研究利用现代科技解决实验教学监管中遇到的困难问题, 达到辅助监管的目的^[4-6]。然而这些研究并不能完全适用于艺术实践教学, 且一般无法实现活体检测(确定识别对象切实到场), 存在伪造证据得到成功验证的风险。

本文采用手指静脉识别这一活体识别技术^[7], 面向艺术实验教学这一特殊的应用场景设计智能监管系统。在考虑提高安全性和可用性的基础上, 设计一种结合软特征的手指静脉识别算法, 进一步提高识别准确率和可靠性。

2 手指静脉识别算法设计

2.1 手指静脉识别的应用优势

近年来, 一种新的生物特征识别技术——手指静脉识别得到了社会和各研究团体的广泛关注。在实验教学监管中, 手指静脉识别与传统生物特征识别技术(如人脸、指纹等)相比, 在以下4个方面具有明显优势^[8]。

1) 高准确度

识别准确度是实验教学监管系统在实验室准入、资源使用认证、签到等功能中需要保证的重要指标。根据最新研究结果, 在公开数据库上,

手指静脉识别的等错误率(equal error rate, EER)等指标优于指纹识别和人脸识别。

2) 高稳定性

除了识别准确率, 对识别对象产生变化时表现出来的鲁棒性, 也是实验教学监管系统需要做到的。手指静脉采样样本在人体内部, 不会随年龄、生活环境等因素的变化而变化, 与人脸识别等远距离识别相比, 受光线、穿戴、遮挡等外界环境影响小, 较为稳定。

3) 活体识别

活体识别可以保证识别对象在识别认证时是真实在现场的, 这对于包含签到、资源使用认证等功能的实验教学监管系统来说是必要的。手指静脉是人体的内部特征, 只有在活体时才能采集到, 比人脸识别、指纹识别, 甚至准确率更高的虹膜识别更有优势。

4) 方便快捷

实验教学监管系统面向实践课程签到等需要在短时间内完成的任务, 否则就会一定程度上延误教学工作。手指静脉识别的非接触式采集, 方便整洁, 且手指静脉图像特征提取后存储信息少, 匹配速度快, 匹配时间小于1s。

2.2 结合软特征的手指静脉识别算法设计

目前, 手指静脉识别算法主要可以分为局部特征分析法^[9-10]、全局特征分析法^[11-12]、基于细节点的识别方法^[13-14]及基于静脉纹路的识别方法^[15-16]等。主流方法均认为手指静脉图像中静脉纹路部分是区分个体的主要特征, 基于静脉纹路的识别方法提取特征更加精准, 具有更好的识别准确率。文献[16]所用方法提取的静脉纹路如图1所示。

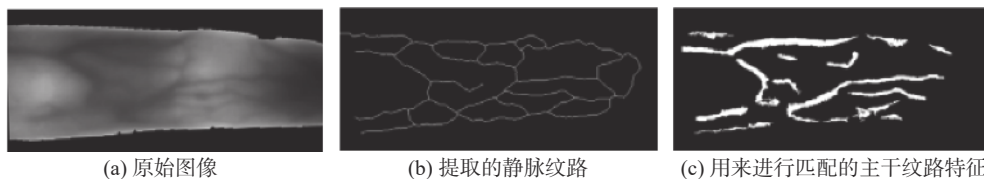


图1 手指静脉特征提取图像

然而, 有研究显示, 手指静脉图像的非静脉纹路部分也具有一定的区分性, 一概将其抛弃的做法并不合适^[17]。如果能合理挖掘非静脉纹路区域的特征, 并与静脉纹路区域进行融合用于识别, 应该可以进一步提高系统识别准确性和鲁棒性。由于非静脉纹路区域特征并非静脉的主要特

征, 且其区分性一般较静脉纹路区域弱, 在这里我们将其视为一种“软特征”^[18], 与静脉区域特征进行融合, 用于识别。

经分析, 非静脉区域的灰度特征和纹理特征是具有区分性的特征。基于此, 本文首先利用文献[16]中方法对静脉纹路进行提取, 对于非纹路

区域，利用局部二值模式 (local binary patterns, LBP)、灰度共生矩阵 (gray-level co-occurrence matrix, GLCM) 和 Tamura 纹理特征 3 种描述灰度和纹理的算子定义图像特征。

文献 [19] 提出一种改进的 LBP 特征。对于图像 I 中像素 x ，改进后的 LBP 特征可表示为：

$$L_{LBP}(x;R,P) = \sum_{p=0}^{P-1} H[I(x_p) - I(x)]^{2p} \quad (1)$$

式中， $x_p = [-R\sin(2\pi p/P), R\cos(2\pi p/P)]^T$ 表示以 x 为中心， R 为半径的圆弧上第 p 个采样点， $H(\cdot)$ 表示赫维赛德函数。文献 [20] 提出了具有旋转不变性的 LBP 算子，即：

$$L_{LBP}^i(x;R,P) = \min\{R_{ROR}[L_{LBP}(x;R,P),i]\} \quad (2)$$

式中， R_{ROR} 是循环右移操作，对 $L_{LBP}(x;R,P)$ 依次循环右移 i 位， $i=1, 2, \dots, P-1$ 。依据识别中对图像特征旋转不变性的要求，本文采用文献 [20] 中的方法提取图像的 LBP 特征。

GLCM 通过计算图像中一定距离和一定方向的两点灰度之间的相关性，来挖掘图像在方向、间隔、变化幅度及速度上的信息，从而提取图像的纹理特征。本文利用 GLCM 的纹理能量、纹理惯性、纹理相关性和纹理熵，作为图像的纹理统计特征。

Tamura 纹理特征是以人类的主观心理度量作为标准，提出的 6 个基本的纹理特征。本文利用其中最能反映纹理特征的粗糙度 (coarseness)、对比度 (contrast) 和方向度 (directionality) 3 个度量标准。

本文采用的分级融合方法将主特征 (静脉纹路特征) 与软特征 (非静脉纹路区域特征) 进行融合。假设两个手指静脉图像在主特征和 3 个软特征 (LBP、GLCM 和 Tamura) 上的匹配得分分别为 $s_i (i=1, 2, 3, 4)$ ，可采用下式计算其融合得分为：

$$s_f = \sum_{i=1}^4 w_i s_i \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & 0 < w_i < 1, i = 1, 2, 3, 4 \\ & \sum_{i=1}^4 w_i = 1 ; \\ & w_1 \gg w_i, i = 2, 3, 4 \end{aligned}$$

式中， $w_i (i=1, 2, 3, 4)$ 是 4 个匹配得分的融合权重。由于主特征的区别性高于软特征，在识别中

起主要作用，因此融合中一般要求主特征匹配得分的权重远大于软特征。设置阈值 T ，若 $s_f \geq T$ ，则判定两个手指静脉图像采集自同一个体；否则，判定其采集自不同个体。

2.3 对照实验

采集在校 72 个教师、512 个学生的右手中指和食指的手指静脉图像 (为每个手指采集 5 幅手指静脉图像) 建立手指静脉数据库。取数据库中 550 个用户 (1100 个手指) 的图像组成测试数据库。其中，随机抽取每个手指的 2 幅图像作为模板图像，剩余 3 幅图像作为测试图像 (待识别图像)。利用模板图像，通过 5-fold 交叉验证方法确定权重 $w_i, i=1, 2, 3, 4$ 。在测试数据上，将本文方法与以下 4 个方法进行对比，结果如表 1 所示。

方法 I：文献 [16] 中基于静脉纹路的方法。

方法 II：方法 I 与 LBP 软特征进行融合的方法，记为“方法 I+LBP”。

方法 III：方法 I 与 GLCM 软特征进行融合的方法，记为“方法 I+GLCM”。

方法 IV：方法 I 与 Tamura 软特征进行融合的方法，记为“方法 I+Tamura”。

在一台安装有专业版 WindowsXP 操作系统、8 GB 动态内存及 4 GHz 中央处理器的计算机上，测试了对比方法的识别性能和时耗情况。测试结果见表 1。由于提取模板图像特征等操作在系统离线 (不在识别阶段) 状态下进行，因此在识别时此部分时耗不予考虑。这里的识别时耗包括“待识别图像的特征提取时间”、“与模板各特征的匹配时间” (计算匹配得分的时间) 和“匹配得分融合计算时间” 3 个部分。本文所提方法包含 3 个软特征的提取和匹配，在时间消耗上要略高于其他对比方法。但是从实验结果可以看出，软特征提取及匹配的耗时极短，增加的耗时基本控制在 30 ms 以内。这对于教学工作中最多百人规模的应用场合，是完全可以接受的。相比识别时耗，识别性能和稳定性是安全监管系统更加关心的问题。表 1 给出了识别准确率、等错误率 (equal error rate, EER)、零误识率 (false accept rate, FAR) 条件下的拒识率 (false reject rate, FRR)，以及在零 FRR 条件下的 FAR 几个系统性能关键指标。可以看出，本文方法在所有指标上均超越了对比方法，且比没有使用任何软特征的方法有明显提高，证明了本文方法的有效性。

表1 各种方法识别性能对比

方法	EER /%	零拒识率下 FAR/%	零误识率下 FRR/%	识别准确率/%	识别时耗/ms
本文	0.96	4.42	19.07	99.2	92.5
方法I	1.28	5.51	28.2	97.9	74.3
方法I+LBP	1.05	4.86	23.9	98.6	85.2
方法I+GLCM	1.20	5.12	26.03	98.2	81.3
方法I+Tamura	1.16	5.04	25.4	98.3	83.6

3 艺术实验教学智慧监管系统设计

3.1 系统架构

本文针对艺术实验教学监管中存在的问题和功能需求对智慧监管系统进行设计。系统架构如图2所示。

系统部署在校园网上, 各部分通过校园网络进行数据交换。

1) 手指静脉采集终端

采集师生及管理人员的手指静脉图像, 形成模板库, 用于识别认证。

2) 手指静脉认证终端

在各实践教学场所部署手指静脉识别器, 师生进入实践教学场所时进行手指静脉识别认证, 实现实验室准入及实践教学参加情况记录。

3) 核心系统逻辑

系统的核心软件部分, 包括手指静脉识别模块、认证监管模块及分析决策模块。手指静脉识别模块部署手指静脉识别核心算法; 认证监管模块实现基于认证信息的安全监管及考勤监管功能; 分析决策模块实现信息分析, 辅助安全风险预判、安全管理决策、违规行为提醒、师生奖惩决策等。

4) 监管中心

安全、教学等各监管部门通过核心系统逻辑提供的安全秩序监管和辅助决策等功能对实践教学安全及秩序进行监管。

5) 信息推送终端

由监管中心控制或系统分析决策后根据条件触发, 向相关目标终端、手机或账号定向推送安全预警、考勤违纪等信息。

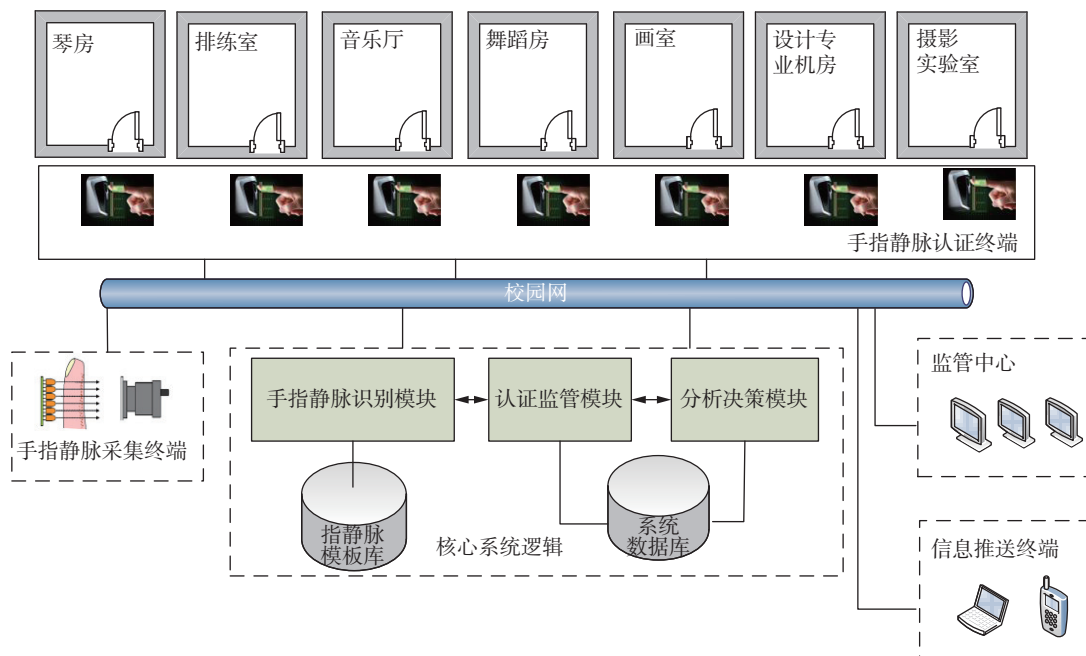


图2 系统架构图

3.2 系统功能

系统在功能上分为安全监管、考勤监管、信息推送及数据分析决策4个主要部分, 4个部分功能以手指静脉识别及基本信息维护两大支撑功能

为基础实现。具体功能及逻辑关系如图3所示。

1) 基础功能

包括手指静脉识别和基础信息维护功能。手指静脉识别功能基于手指静脉模板库和核心识别

算法实现基于手指静脉识别的身份认证。基础信息维护实现对系统基础信息及其关联关系的维护。

2) 安全监管功能

基于手指静脉识别及基础信息实现各实验场

所的身份认证准入以及实践教学课程和活动的认证准入。在出现非法认证的情况下，记录非法认证信息，提供查询报表，并提交分析决策模块进行分析处理。

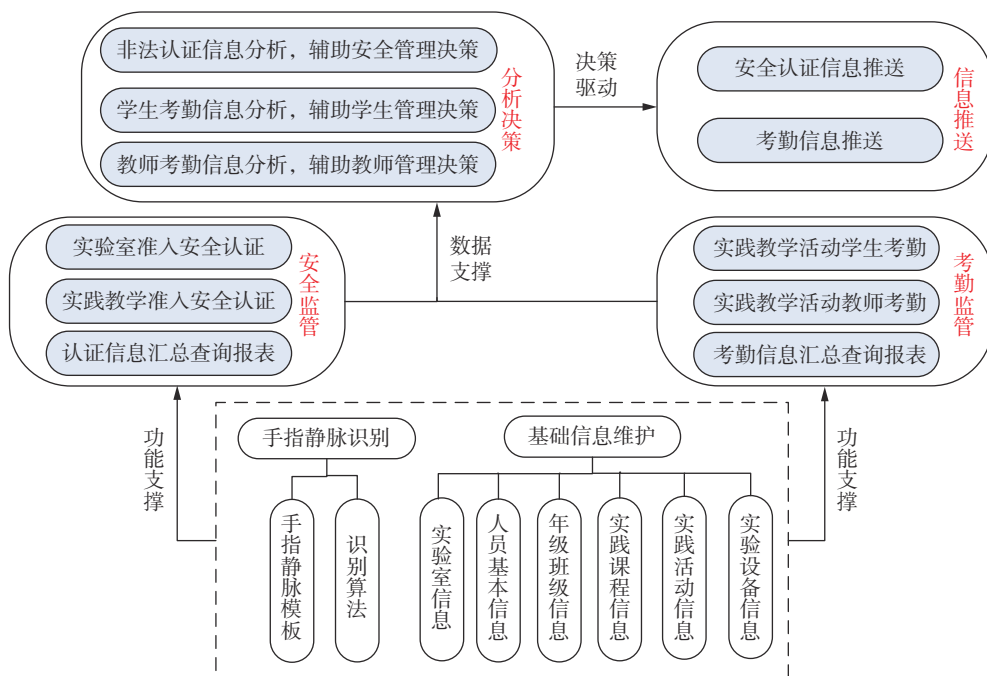


图 3 系统功能及逻辑关系图

3) 考勤监管功能

以师生信息、实践教学课程及实践教学活动信息等为基础，通过手指静脉识别实现针对学生和教师的实践教学考勤，记录旷课、迟到、早退等信息，提供查询报表，并提交分析决策模块进行分析处理。

4) 信息推送功能

以分析决策功能部分为依据，通过多种方式实现非法认证信息及考勤信息的推送。主要包括面向各主管部门的 Web 端系统推送及面向个人的点对点短信推送。

5) 分析决策功能

是实现智能监管的核心功能，主要实现安全信息分析决策、学生考勤信决策、教师考勤信息分析决策 3 大功能。

① 安全信息分析决策

安全信息分析决策逻辑如图 4 所示。系统对于非法认证，分 3 种情况进行处理。第一，某一时段 T 内，如果在同一地点，或者由同一个体进行了多于 N 次的非法认证，则报警，并实时向安全监管部门推送非法认证信息。第二，如果出现

在同一地点，或者由同一个体发起的连续的非法认证，则进行报警，并实时向安全监管部门推送非法认证信息。第三，没有出现以上两种情况，将非法认证信息积累一段时间(如一个周)，汇总推送给安全监管部门。安全监管部门对非法认证常出现地点等信息进行进一步分析，优化管理决策。其中，参数 T 和 N 可以根据管理需要进行设置。

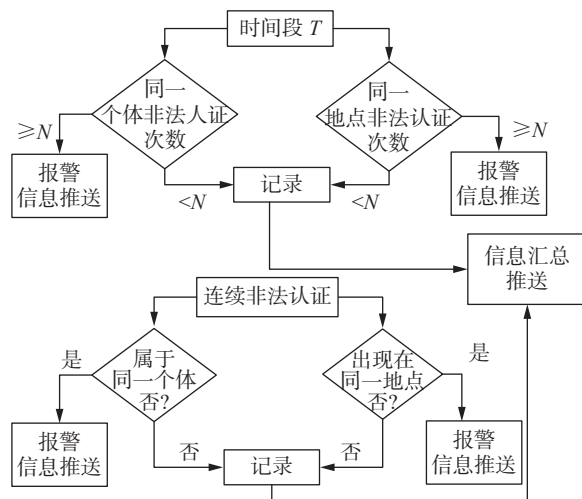


图 4 安全信息分析决策逻辑图

② 学生考勤信息分析决策

对于学生考勤信息, 如果出现以下3种情况之一, 则实时将违纪信息推送给教学管理部门进行处理, 同时以点对点的方式将违纪信息推送给学生本人。第一, 某学生累计违纪(包括旷课、迟到、早退) N_1 节课。第二, 某学生连续违纪 N_2 节课。第三, 某节课违纪学生达到全体学生比例 $M(0 < M < 1)$ 。此外, 学生考勤信息以周或月为单位推送给学生管理部门和教学管理部门, 按照学校学生及教学相关管理政策进行分析处理, 同时辅助学生评奖评优、处分处罚等管理决策。参数 N_1 、 N_2 及 M 可以根据管理需要进行设置。

③ 教师考勤信息分析决策

教师一旦出现违纪现象, 立刻将违纪信息推送给管理部门进行处理, 同时将违纪信息以点对点的方式推送给相关教师。此外, 教师考勤信息以周或月为单位推送给教师管理部门和教学管理部门, 按照学校相关政策进行分析处理, 并辅助教师考核评优、教师奖福等管理决策。

3.3 系统功能设计的独特性

1) 功能设计应具有针对性和全面性

系统填补目前艺术教学实践监管领域的空白, 针对艺术实验教学监管工作的特殊性和存在的共性困难问题进行设计, 涵盖了实验室安全监管、实验资产安全监管、实验教学纪律监管、智能分析和辅助监管决策等功能, 功能较为全面地覆盖了艺术实验教学监管工作中涉及的各方面需求。

2) 实现智能分析和决策

基于数据驱动实现智能分析和决策是该系统的一大特色。系统在实现实验教学安全监管和纪律监管的基础上, 快速处理和分析系统积累的大量数据, 帮助监管人员和教学管理部门在短时间内更加客观地做出安全应急处理等方面的准确决策。

3) 基于智能分析决策的信息推送

系统智能分析决策模块通过事件触发, 自动对数据进行分析, 并将指导性信息进行及时、有针对性的推送和反馈。这是本系统设计的一个特色。表2对系统的信息推送功能进行了总结。

表2 基于智能分析决策的信息推送功能

推送模块	触发事项	推送对象	推送内容	推送方式
安全信息分析决策	系统分析非法认证记录符合推送条件	安全监管部	非法认证信息及分析结果	WEB端推送
	系统定时整理数据并发送	安全监管部	安全认证数据及分析结果	WEB端推送
学生考勤信息分析决策	系统分析学生违纪记录符合推送条件	教学监管部门	违纪信息	WEB端推送
	系统分析学生违纪记录符合推送条件	学生本人	违纪信息	点对点推送
教师考勤信息分析决策	系统定时整理数据并发送	教学监管部门	考勤数据及分析结果	WEB端推送
	系统分析教师违纪记录符合推送条件	教学监管部门	违纪信息	WEB端推送
	系统分析教师违纪记录符合推送条件	教师本人	违纪信息	点对点推送
	系统定时整理数据并发送	教学监管部门	考勤数据及分析结果	WEB端推送

4 系统实施情况及成效

2019年, 基于手指静脉识别的艺术实践教学智慧监管系统进入试用阶段, 2020年正式投入使用。使用期间, 全面提升了学院实验教学监管效率和监管水平, 同时为管理决策提供了有效支撑。为验证系统的有效性, 从实验教学安全监管、实验教学秩序监管、辅助管理决策3个方面对与实验教学监管成效相关的几个关键指标进行了检测。

4.1 检测范围和数据情况

1) 检测范围内被监管实验场所和实验用具

这里的实验用具主要指钢琴、电脑等贵重教学设备设施和乐器、画具等私属性强的实验用具, 如表3所示。

表3 检测范围内被监管实验场所与实验用具情况

实验场所类别	实验场所数量/间	检测实验用具数量/件
琴房	96	148
排练室	2	6
音乐厅	1	4
舞蹈房	2	4
画室	27	524
机房	2	112
摄影实验室	1	45
存画室	1	195
乐器房	1	266

2) 检测范围内被监管实验教学课程(活动)

由于课程(活动)数量较多, 只给出其数量和具有代表性的课程(活动)名称, 如表4所示。

表 4 检测范围内被监管实验教学课程和教学活动情况

类别	面向专业	课程(活动)数量/学时	代表性课程(活动)
实验教学课程	音乐学专业	13	美声、键盘(钢琴)
	美术学专业	7	彩画、油画
	艺术设计专业	14	图形创意、数字插画设计
实验教学活动	音乐学专业	8	乐队排练、合唱与指挥
	美术学专业	4	展览设计、课程作品展
	艺术设计专业	4	课程作品展、毕业作品展

3) 检测范围内系统监管对象情况

系统面向学院内部教师和学生使用，全体在校老师、本科生和研究生是系统的监管对象。表 5 显示了系统在 2019—2021 年监管对象情况，同时给出系统未投入使用前 2016—2018 年学院师生情况。

表 5 检测范围内系统监管对象情况

监管对象	人数					
	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
教师	68	68	71	72	73	73
本科生	451	456	454	479	475	475
研究生	26	27	31	33	32	33

2019—2021 年检测数据来源于系统对监管对象进行实验场所准入监管、实验课程(活动)考勤监管等过程中产生的数据，同时，基于这些数据辅助形成的管理决策。2016—2018 年的检测数据来自于学院实验室管理、教务管理等部门记录的相应数据。

4.2 实验教学安全监管成效

图 5 给出了“实验场所非法进入”“实用具非法使用”和“实验用具丢失”共 3 个关键指标在 2016—2021 年的变化情况。通过图 5 可以看出，系统在提高实验教学活动安全性、实验用具存放及使用安全性等方面发挥了重要作用，取得了良好成效。

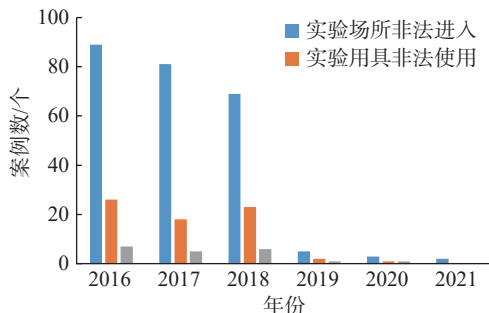


图 5 2016—2021 年实验室监管主要安全指标情况

4.3 实验教学秩序监管成效

自系统投入使用以来，学院教师在各大教

学、实践活动中未出现旷课、迟到、早退等违纪现象。学生的违纪现象大幅度减少，基本解决了代替签到、教师漏记等问题。

图 6 列出了 2016—2021 年实践教学课程中，学生旷课、迟到、早退等几项关键考勤指标数量占应正常考勤数量的比例。可见，在系统应用后，虽然不能完全消除违反纪律的情况，但旷课、早退等各项指标有了大幅度降低，特别是 2020 年以来完全杜绝了代替签到及遗漏签到的情况发生。

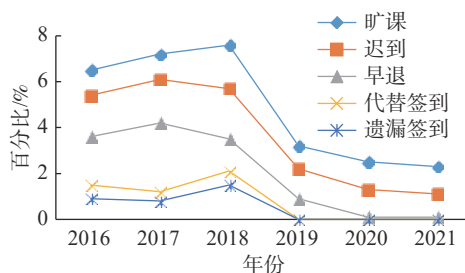


图 6 2016—2021 年实践教学课程中学生考勤关键指标情况

图 7 给出了 2016—2021 年演出排练、展览设计等较为灵活的实践教学活动中，学生旷课、迟到、早退几项关键考勤指标数量占应正常考勤数量的比例。由于活动安排变化较多、传统监管方式下临时监管力度不够等原因，在此类实践活动中，学生的违纪比例高于一般实践教学课程。系统投入使用后，大幅度降低了违纪比例，有效解决了此类活动中学生纪律监管中存在的问题，提高了监管水平。

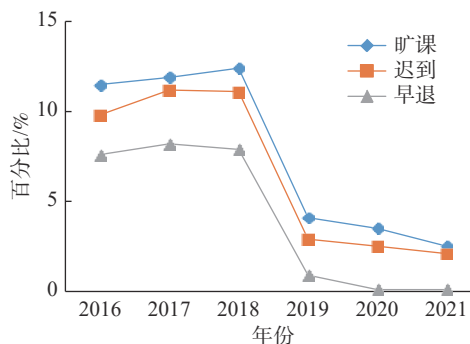


图 7 2016—2021 年实践教学活动中学生考勤关键指标情况

4.4 辅助管理决策成效

系统的分析决策功能在实验室安全管理、实验设备安全管理、教师管理、学生管理、教学管理等多个管理层面发挥了重要的决策辅助作用。

2019—2021年, 辅助决策信息揭示, 出现非法认证次数较多的实践场所9个, 多存在于排练室、琴房和展厅; 出现非法认证次数较多的实践教学实践活动2个, 以展览设计为主, 此类实践场所和实践教学实践活动均纳入了学院重点安全管理对象。此外, 目前系统提供的考勤数据已成为学生课程成绩评判、师生评奖评优、处分处罚等不可缺少的依据。

5 结束语

实验教学安全及秩序监管是各大高校面临的共同课题, 也是实验教学管理的重中之重。艺术类实验教学有其独有特点, 对其安全监管和纪律监管工作有着特殊要求。目前针对艺术实验教学, 缺乏兼顾安全监管和智慧决策的信息化管理手段。手指静脉识别技术具有活体识别、高准确度等特点, 更加适应艺术类实践教学监管应用场景。本文设计一种结合软特征的手指静脉识别技术, 获得了更高的识别准确率和可靠性。在此基础上, 针对艺术实验教学的特殊需要, 研究实现了基于手指静脉识别的艺术实践教学智慧监管系统。经过两年的应用, 充分验证了该系统的有效性。

参考文献

- [1] 史海峰. 高校实验室安全管理研究[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(9): 248–251.
- [2] 何江娜. 高校音乐教学中艺术实践活动的开展路径探究[J]. 戏剧之家, 2023, 16(1): 184–186.
- [3] 张晓艳. 高校美术与艺术设计教学实践研究[J]. 美术教育研究, 2023, 22(1): 139–141.
- [4] 郝学元, 王路, 喻莹玉, 等. 基于图像识别的实验室利用率管理系统[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(2): 143–149.
- [5] 沈继元. 基于开放实验室一体化平台的督学系统设计[J]. 信息化教育, 2021, 24(1): 234–236.
- [6] 王瑞琦, 郭柯延, 薛晓冬. 基于指纹识别的实验室门禁系统设计[J]. 应用天地, 2021, 40(7): 160–163.
- [7] SHAHEED K, MAO A, QURESHI I, et al. Recent advancements in finger vein recognition technology: Methodology, challenges and opportunities[J]. Information Fusion, 2022, 79(1): 84–109.
- [8] YANG L, YANG G, XI X, et al. Finger vein code: from indexing to matching[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2019, 14(5): 1210–1223.
- [9] KANG W, CHEN X, WU Q. The biometric recognition on contactless multi-spectrum finger images[J]. Infrared Physics & Technology, 2015, 68: 19–27.
- [10] LIU C G, KIM Y H. An deficient finger-vein extraction algorithm based on random forest regression with deficient local binary patterns[C]//2016 IEEE International Conference on Image Processing. Phoenix: IEEE Press, 2016.
- [11] QIU S R, LIU Y Q, ZHOU Y J, et al. Finger-vein recognition based on dual-sliding window localization and pseudo-elliptical transformer[J]. Expert Systems with Applications, 2016, 64: 618–632.
- [12] SHAHEED K, MAO A, QURESHI I, et al. DS-CNN: A pre-trained Xception model based on depth-wise separable convolutional neural network for finger vein recognition[J]. Expert Systems with Applications, 2022, 116288(1): 1–18.
- [13] LIU F, YANG G, YIN Y, et al. Singular value decomposition based minutiae matching method for finger vein recognition[J]. Neurocomputing, 2014, 145: 75–89.
- [14] WANG J, XIAO J, LIN W, et al. Discriminative and generative vocabulary tree: With application to vein image authentication and recognition[J]. Image Vision Computing, 2015, 34: 51–62.
- [15] LIU T, XIE J B, YAN W, et al. An algorithm for finger-vein segmentation based on modified repeated line tracking[J]. Journal of Photographic Science, 2013, 61(6): 491–502.
- [16] YANG L, YANG G, YIN Y, et al. Finger vein recognition with anatomy structure analysis[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2018, 28(8): 1892–1905.
- [17] MENG X J, XI X M, LI Z W, et al. Finger vein recognition based on fusion of deformation information[J]. IEEE Access, 2020, 8: 50519–50530.
- [18] DANTCHEVA A, ELIA P, ROSS A. What else does your biometric data reveal? A Survey on Soft Biometrics[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2016, 11(3): 441–467.
- [19] PIETIKAINEN M, OJALA T, XU Z. Rotation-invariant texture classification using feature distributions[J]. Pattern Recognition, 2000, 33(1): 43–52.
- [20] CHU Y, WANG Y, ZHU J, et al. A webber local binary pattern descriptor for pancreas endoscopic ultrasound image classification[C]//IEEE Workshop on Electronics, Computer and Applications. Piscataway: IEEE Computer Society, 2014: 836–839.

编辑 张俊