

蘭州資源環境職業技術大學

LANZHOU RESOURCES & ENVIRONMENT VOC-TECH UNIVERSITY

## 本科毕业设计



题 目： 基于 OpenCV 的人脸识别门禁

系统设计

学 院： 信息工程学院

专 业： 人工智能工程技术

年 级、班： 2023 级人工智能工程技术（专升本）11 班

学 生 姓 名： 张俊龙

指 导 教 师： 尉雅晨

二〇二五年五月三十日

## 兰州资源环境职业技术大学学位论文原创性声明

本人郑重声明:所呈交的学位论文是本人在导师的指导下独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。因本学位论文引起的法律后果完全由本人承担。

学位论文作者签名: 张俊龙

签字日期: 2025 年 5 月 30 日

# 基于OpenCV的人脸识别门禁系统设计

张俊龙

(兰州资源环境职业技术大学信息工程学院人工智能工程技术专业2023级(专升本)11班级,甘肃 兰州 730021)

指导教师: 尉雅晨

**[摘要]**随着科技的飞速发展,门禁系统作为现代安全管理体系的关键组成部分,已从传统的机械钥匙、电子密码及磁卡技术,逐步演变为基于生物识别的智能化阶段。人脸识别技术因其非接触、高精度和易用性等优势,成为门禁系统的主要选择。目前的人脸识别门禁系统在实际应用中存在诸多问题,尤其在复杂环境下,严重干扰关键特征的提取,识别精度明显降低,难以满足现代安防系统对高效性和灵活性的严格要求。系统利用 PyCharm 平台在 python3.9 环境下开发了基于 OpenCV 的人脸识别门禁系统,系统采用 B/S 架构,前端通过浏览器与后端 Flask 服务交互连接,依托 SQLite 数据库存储用户和人脸数据。数据集选用 vggface\_48w\_align,并将数据集按 7:2:1 划分训练集、验证集与测试集。本设计以 ResNet50 为骨干网络,通过冻结底层参数、微调中高层参数训练人脸识别模型,提升复杂环境下的特征提取能力,使网络可以训练的更深、更容易收敛。通过模型设计并实现人脸识别门禁系统,涵盖了人脸注册、实时识别、门禁控制、用户权限管理(管理员与普通用户分级)及操作日志记录等功能模块。经实验验证,人脸识别模型准确率达 82.26%,在光照变化、姿态偏转场景下表现出一定鲁棒性。通过 OpenCV 实现实时摄像头捕获人脸,与数据库特征比对实现门禁自动控制,响应速度满足实时性要求。

**[关键词]**人脸识别, 门禁系统, OpenCV, ResNet50

# Design of a Face Recognition Access Control System Based on OpenCV

JunLongZhang

(Class 11, Artificial Intelligence Engineering Technology Major, 2023 Grade (Junior College to Bachelor's Degree), School of Information Engineering, Lanzhou Resources and Environment Vocational and Technical University, Lanzhou 730021, Gansu Province)

Tutor: YaChenWei

**Abstract:** With the rapid development of technology, access control systems, as a key component of modern security management systems, have gradually evolved from traditional mechanical keys, electronic passwords and magnetic card technologies to an intelligent stage based on biometric recognition. Facial recognition technology has become the main choice for access control systems due to its advantages such as non-contact, high precision and ease of use. At present, the facial recognition access control system has many problems in practical application, especially in complex environments, it seriously interferes with the extraction of key features, and the recognition accuracy is significantly reduced, making it difficult to meet the strict requirements of modern security systems for efficiency and flexibility. The system developed a face recognition access control system based on OpenCV using the PyCharm platform in the python3.9 environment. The system adopts a B/S architecture. The front end is interactively connected with the Flask service at the back end through a browser, and relies on the SQLite database to store user and face data. The dataset selects vggface\_48w\_align, and the dataset is divided into the training set, the validation set and the test set in a ratio of 7:2:1. This design takes ResNet50 as the backbone network. By freezing the underlying parameters and fine-tuning the middle and high-level parameters to train the face recognition model, the feature extraction ability in complex environments is improved, enabling the network to be trained deeper and more convergent. The face recognition access control system was designed and implemented through the model, covering functional modules such as face registration, real-time recognition, access control, user permission management (hierarchical between administrators and ordinary users), and operation log recording. Experimental verification shows that the accuracy rate of the face recognition model reaches 82.26%, and it demonstrates certain robustness in scenarios of illumination variation and pose deflection. Real-time face capture by the camera is achieved through OpenCV, and automatic access control is realized by comparing with the features of the database. The response speed meets the real-time requirements.

**Keywords:** Facial Recognition, Access Control System, OpenCV, ResNet50

## 目 录

摘要 .....	I
<b>Abstract</b> .....	II
1 绪论 .....	1
1.1 研究背景及意义 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	2
1.3 研究内容及论文结构安排 .....	3
2 相关理论与技术基础 .....	4
2.1 OpenCV 介绍 .....	4
2.2 ResNet 简介 .....	4
2.3 迁移学习 .....	5
3 系统需求分析与设计 .....	6
3.1 人脸识别门禁系统需求分析 .....	6
3.2 系统总体设计 .....	6
3.3 关键模块设计 .....	7
4 系统实现与关键技术 .....	9
4.1 开发环境与模型训练配置 .....	9
4.2 关键技术实现 .....	9
4.3 系统界面与功能展示 .....	12
4.4 系统测试 .....	15
5 总结与展望 .....	19
5.1 研究成果总结 .....	19
5.2 未来展望 .....	19
参考文献 .....	20
致 谢 .....	21

## 1 绪论

### 1.1 研究背景及意义

#### 1.1.1 研究背景

在科技快速发展的时代，门禁系统作为现代安全管理体系的关键部分，随着科技不断进步，已在各个领域得到广泛运用，早期的门禁系统主要依靠机械钥匙、电子密码或者磁卡技术，这些技术虽说简单方便，但存在明显的安全隐患，机械钥匙以及磁卡很容易被复制，电子密码则容易被破解或者被遗忘，使得系统的安全性较低。传统方法在面对多人同时通行、临时访客管理等动态环境变化的情况时表现得有些力不从心，难以满足现代安防系统对安全性、高效性以及灵活性的要求。

指纹、人脸识别这类生物识别技术，凭借其难以被复制的独特生物特征，正逐步成为门禁系统里的主流技术，并受到了广泛的关注。人脸识别技术的研究，最早可追溯至20世纪60年代，一直到90年代后期，随着计算机视觉以及图像处理技术的进步，才真正迈入实际应用阶段。近些年来，人工智能（Artificial Intelligence, AI）技术迅速发展，为人脸识别技术升级带来了无限可能，大大提升了人脸识别的准确性与速度。尽管AI技术在门禁系统中呈现出巨大潜力，然而其在实际应用中仍面临着诸多挑战。

本文结合先进计算机视觉技术与深度学习算法使人脸识别门禁系统通过摄像头去捕捉人脸图像，尽可能降低受光照、姿态、表情等因素的影响，从而有效提升门禁系统的安全性、便捷性和智能化水平。通过迁移学习ResNet50的骨干网络训练的模型进行人脸识别检测和识别，设计实现了基于OpenCV的人脸识别门禁系统。系统能够实现快速、精准的身份验证。在智能安防系统中具有重要的应用价值和前景。

#### 1.1.2 研究意义

人工智能身为21世纪极有变革性的技术种类之一，正以前所未有的速度改变着人们的生活、工作以及社会的方方面面，从理论构思开始一直到实际应用阶段，人脸识别技术的发展历程充满了探索、突破与融合。近些年来，深度学习技术的兴起给计算机视觉带来了关键性的技术突破，在目标检测、特征提取以及图像识别等领域都取得了显著进展。

在智能安防领域中，门禁系统作为其中重要的一环也随着技术的发展不断突破。基于人脸识别的门禁系统借助算法可精准识别个体身份，降低他人冒用身份的风险，保证只有经过授权的人员方可进入特定区域，切实防止非法闯入情况发生，人脸识别门禁系统有非接触性以及高便捷性的特点，用户无需携带任何物理介质，凭借面部识别就能迅速验证身份，提高通行效率，为用户营造更为智能、便捷的生活体验。系统可以通过网络连接的方式便捷管理员进行实时管理，提高系统的灵活性和管理效率。设计不仅适用于企业、学校等大型场所，还可广泛应用于社区、家庭等小型场景，满足不同用户的安需求。随着人脸识别技术在门禁系统的广泛应用，大大提升社会安全水平及公共安全管理的效率，带动智能安防的全面发展。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 国内研究现状

在国内，人脸识别技术已在公共安全、金融、教育、零售、交通等众多领域得到广泛应用。2018年，刘蒸蒸<sup>[1]</sup>于OpenCV3.0平台上开展人脸识别系统开发工作，借助该平台中的PCA和LBP算法，成功设计并实现了一款人脸识别系统，此系统有实时性高、识别效率高以及稳定性较高的特点。2020年，焦双健等人<sup>[2]</sup>着手进行卷积神经网络的人脸识别门禁系统设计，提出了基于深度卷积神经网络的人脸识别系统，该系统拥有鲁棒性强、维护简单且造价低廉的优势，可应用于小区、宿舍、学校以及建筑工地等场所的门禁系统。2020年，陈雪敏<sup>[3]</sup>专注于基于SE-ResNet模型的多角度人脸识别系统设计，提出了一种以SE-ResNet模型为基础的多角度人脸识别系统，使得多角度人脸识别方法的准确率提升了1.9%。2022年，白燕燕等人<sup>[4]</sup>希望能够基于多模态融合的人脸识别门禁系统设计，将人脸识别与云服务相结合，以此判断人脸信息是否符合要求，若符合则驱动门锁打开，不符合则将照片上传至云端，并进行软件示警。2023年，龙婧<sup>[5]</sup>开展基于OpenCV人脸识别门禁系统的设计与实现工作，提出了一个以ESP32-CAM开发板为核心的门禁系统，该门禁系统设计简洁、性能稳定、安全可靠且成本低廉，适合在校园中进行推广使用。2024年，童友健<sup>[6]</sup>在基于人工智能的人脸识别智能锁系统设计分析中指出，人工智能在人脸识别领域被广泛应用于支付、门禁控制等方面。2024年，张杜娟等人<sup>[7]</sup>开展基于Python+Dlib方法的人脸识别技术研究，在鲁棒性、检测实时性、识别精度以及效果上均优于OpenCV方法。随着深度学习技术持续发展，国内在人脸识别算法方面取得了一定进展，提高了识别的准确性与速度。

### 1.2.2 国外研究现状

在国外，人脸识别技术的应用也颇为广泛。2024年，Y. Golovachev等人<sup>[14]</sup>针对使用机器学习在树莓派上运行人脸识别算法展开CPU性能分析，其中介绍了运用机器学习对面部识别算法所进行的测试，以此来实现实时面部识别。同年R. Nurhadhi等人<sup>[15]</sup>构建基于多任务卷积神经网络和支持向量机的多人脸自动识别模型，采用MTCNN、SVM等方法搭建了自动考勤系统的人脸识别模型，当帧中仅有一个个体时，最高准确率可达99.155%。与此同时，G.A.Rani等人<sup>[16]</sup>着手基于实时眼周的人脸识别系统，采用边缘检测、Gabor滤波器以及局部二值模式，精准捕获了系统所需的区分眼周特性，同时处理了包含光照差异、遮挡和附件等在内的问题，Z.Sun<sup>[17]</sup>基于标记的人脸自监督学习方法，利用提取的面部地标定位的补丁，在多个人脸识别基准测试中取得了一定的进展。2024年，Freha Mezzoudj等人<sup>[18]</sup>在基于ResNet和DarkNet卷积神经网络的人脸识别系统里，采用基于三个ResNet和两个DarkNet模型的鲁棒卷积神经网络系统，运用遮挡人脸数据库FEI-SM测量被遮挡和未遮挡人脸的生物特征识别精度，结果呈现出较好的准确性。

### 1.3 研究内容及论文结构安排

#### 1.3.1 研究内容

本文设计并实现了基于OpenCV的人脸识别门禁系统，旨在提升门禁系统的安全性、便捷性和智能化水平。系统通过OpenCV提供的HOG算法用于人脸检测，使用基于迁移学习Resnet50骨干网络训练的人脸识别模型进行人脸特征提取。实验表明，人脸识别模型的准确率在80%以上，系统在光照、姿态变化场景下具备一定鲁棒性。

#### 1.3.2 论文结构安排

本文共分为5章组成，组织结构与安排如下。

##### 第1章 绪论

阐述门禁系统的研究背景及意义，分析传统门禁系统的局限性和人脸识别技术的优势，综述国内外研究现状，明确研究内容与目标。

##### 第2章 相关理论与技术基础

介绍OpenCV及卷积神经网络ResNet的概念、关键技术及算法公式，详细阐述了核心残差块结构特征与跳跃链接类型，以及迁移学习的基本概念。

##### 第3章 系统需求分析与设计

对系统进行需求分析，阐述系统总体设计，对系统架构、前后端实现和数据库设计进行描述，重点描述数据库、人脸录入与识别、用户管理模块等关键设计模块。

##### 第4章 系统实现与关键技术

介绍开发环境与工具，阐述数据集、人脸识别模型选择和训练，以及系统集成与部署、系统界面与功能展示等关键环节的实现过程。

##### 第5章 总结与展望

总结研究成果，评估系统性能，指出系统面临的挑战，对未来研究方向进行展望。

## 2 相关理论与技术基础

### 2.1 OpenCV介绍

OpenCV自1999年由Intel发起，已发展成为全球领先的计算机视觉库之一。其提供了丰富的图像处理和计算机视觉算法，涵盖了从滤波、边缘检测的基础操作到特征提取、目标检测的高级任务等多种功能。

OpenCV提供了多种特征检测与描述算法，如方向梯度直方图(Histogram of Oriented Gradients,HOG)、尺度不变特征变换(Scale-Invariant Feature Transform,SIFT)、加速稳健特征(Speeded-Up Robust Features,SURF)和加速的带有旋转的Brief(Oriented FAST and Rotated BRIEF,ORB)。HOG算法通过计算和统计图像局部区域的梯度方向直方图来构成特征，用于描述图像中目标的形状和纹理信息，对光照变化具有较好的鲁棒性。OpenCV还集成了多种目标检测模型，如Haar级联分类器、HOG + SVM以及基于深度学习的YOLO和SSD模型。Haar级联分类器是基于Haar特征和AdaBoost算法，通过级联分类器的方式进行目标检测。Haar特征是一种简单的矩形特征，通过计算不同区域的像素和来描述图像的局部特征，计算速度快，适合简单背景下的目标检测；HOG + SVM对光照变化和遮挡具有较好的鲁棒性，但计算量较大；YOLO和SSD则在精度和速度上取得了平衡，广泛应用于实时目标检测任务。

### 2.2 ResNet简介

在卷积神经网络(CNN)发展历程中，网络深度是提升模型表征能力的关键，但随着任务复杂度的提升，深层网络训练常会出现梯度消失、梯度爆炸和网络退化等问题。2015年，何恺明团队提出残差网络(Residual Network, ResNet)，其网络结构如图2.1所示，其残差连接机制解决了网络退化问题，使深度神经网络层数大幅提升。ResNet在ImageNet图像分类中以152层实现3.57%错误率，为后续深度网络架构设计奠定了基石。



图 2.1 ResNet 网络结构

ResNet将传统卷积层的拟合目标由原始映射 $H(x)$ 转换为残差映射 $F(x)=H(x)-x$ ，其中 $x$ 为输入特征图， $H(x)$ 为期望的最优映射。此时的恒等映射等价于 $F(x)=0$ 。当 $F(x)$ 的优化目标为0时，只需将卷积层权重趋近于零，就可以通过跳跃连接(Skip Connection)实现恒等映射。在反向传播过程中，损失函数Loss对第 $l$ 层输入的 $x_l$ 的梯度可以表示为

$$\frac{\partial Loss}{\partial x_l} = \frac{\partial Loss}{\partial x_{l+1}} \cdot \left( \frac{\partial F}{\partial x_l} + I \right) \quad (2.1)$$

其中  $I$  是单位矩阵， $x_{l+1} = F(x_l, \{W_i\}) + x_l$  描述了残差块的前向传播关系。这个梯度表达式说明了梯度是通过残差函数  $F$  传递的非线性变换梯度  $\frac{\partial Loss}{\partial x_{l+1}} \cdot \frac{\partial F}{\partial x_l}$ ，和通过跳跃链接直接传递的线性通路梯度  $\frac{\partial Loss}{\partial x_{l+1}} \cdot I$  两部分组成的。后者确保了即使残差函数的梯度在趋近于零时，仍存在恒定的梯度传播路径，从理论层面解决了深层网络因梯度衰减导致的优化困境。

在ResNet网络中ResNet50作为ResNet系列的中等规模代表模型，其核心优势源于瓶颈结构残差单元（Bottleneck Residual Block）的设计。每个残差单元由 $1\times 1$ 降维卷积、 $3\times 3$ 空间特征提取卷积和 $1\times 1$ 升维卷积组成，通过“先降维-后卷积-再升维”的路径，在保持感受野的同时显著降低计算复杂度。ResNet50包含50层参数层，不含池化层与全连接层。卷积网络分为4个阶段（stage），各阶段依次堆叠3、4、6、3个瓶颈块，通过步长卷积实现特征图尺寸从 $56\times 56$ 到 $7\times 7$ 的逐级减半，最终经全局平均池化和全连接层完成分类任务。该结构通过残差连接（Residual Connection）缓解了深层网络的梯度消失问题，使网络深度与表征能力得以平衡，参数量控制在约25.6M，兼具模型效率与训练稳定性。其网络结构如图2.2所示。

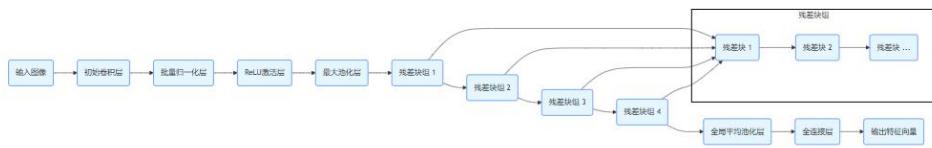


图 2.2 ResNet50 网络结构图

### 2.3 迁移学习

迁移学习作为机器学习领域的重要分支，通过将源领域（Source Domain）知识和特征迁移到目标领域（Target Domain）的新任务中的方式避免目标领域模型从头训练，提升了模型效率、泛化能力和数据利用效率。其适用于目标领域数据稀缺或标注成本高的场景。迁移学习的主流类型按源与目标领域数据分布差异和任务相关性可分为同构迁移学习、异构迁移学习和领域自适应。同构迁移学习指源与目标领域特征空间、任务类型相同但样本分布不同，在目标领域数据量中等时，通过微调冻结预训练模型底层参数、仅训练高层参数，数据极少时可采用特征提取固定整个预训练模型、仅训练新分类头以提升训练速度。异构迁移学习是指源与目标领域特征空间不同或任务类型不同，包括通过对抗学习或共同特征空间映射实现文本生成图像模型DALL·E语义对齐的跨模态迁移，以及学习“学习的方法”使模型快速适应新任务的元学习。领域自适应场景中，其核心方法包括通过GAN混淆模型对源和目标领域的判别能力、强制学习领域不变特征的对抗性领域自适应，以及通过CycleGAN等风格迁移将源领域数据转为目标领域风格、缩小分布差异的数据增强。

### 3 系统需求分析与设计

#### 3.1 人脸识别门禁系统需求分析

随着安全意识的不断提升，现代社会对门禁系统的安全性、便捷性和智能化程度提出了更高要求，传统门禁系统因安全漏洞频发，难以满足复杂多变的安全形势需求，人们期望实现快速无接触通行以提升通行效率。在功能性上，系统区分普通用户与管理员，前者可进行注册登录及查看个人账户和人脸信息，后者负责用户账户管理、信息审核与日志查看；系统利用摄像头实时采集人脸图像，通过OpenCV 技术检测并基于训练的模型提取特征，与数据库比对后，以80%为相似度阈值判定是否授权开门，同时依据识别结果自动控制门禁开关并语音提示，采用数据库存储管理各类数据，支持管理员灵活调整系统参数以适配不同场景。在非功能性方面，系统在正常环境下能保证80%以上的人脸识别准确率，在复杂环境中具备一定的鲁棒性；通过加密技术与完善认证授权机制保障数据安全；具备稳定运行与容错能力，依靠定期备份确保数据完整；操作界面简洁友好便于用户使用。

#### 3.2 系统总体设计

本设计的人脸识别门禁系统采用B/S架构，系统的前端采用Bootstrap 5构建响应式Web界面，后端使用Python Flask框架提供RESTful API，数据库选用SQLite。系统基本流程如图3.1所示。系统主要包含人脸录入与识别模块、用户管理模块、数据存储模块、系统日志查看功能。在人脸录入与识别模块中，用户可通过Web界面选择人脸录入功能，支持实时拍摄或本地上传图片两种方式。用户管理模块负责管理系统用户，普通用户和管理员具有不同的权限，管理员用户可为小区物业管理员等，普通用户可以是小区业主，学校学生等。数据存储模块使用SQLite数据库存储用户信息、人脸特征和系统日志。系统日志查看功能主要在管理员用户下可查看系统的操作记录。

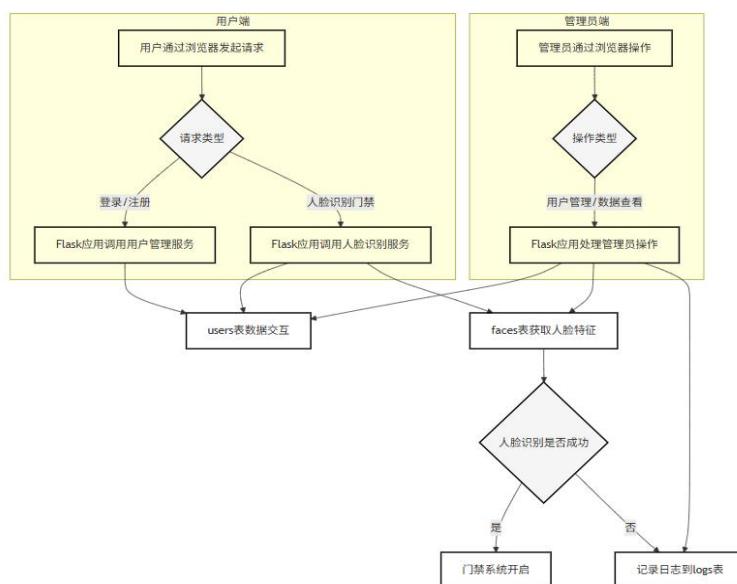


图 3.1 系统流程图

### 3.3 关键模块设计

#### 3.3.1 数据库设计

数据库采用SQLite数据库对数据进行管理，主要由三张数据表构成。faces表主要用于存储人脸数据，如表3.2所示；users表存储系统用户的基本信息，如表3.1所示；logs表记录管理员和用户的关键操作，如表3.3所示。其中，faces表与users表关联，用于人脸识别比对，users表用于登录验证和权限控制，logs表用于审计追踪。

表 3.1 users 表

字段名	数据类型	约束条件	描述	主键
id	INTEGER	NOT NULL	用户 id	PRIMARY KEY AUTOINCREMENT
username	TEXT	NOT NULL	用户登录名	
password	TEXT	NOT NULL	用户密码	
name	TEXT		用户真实姓名	
phone	TEXT		用户联系电话	
role	TEXT	NOT NULL	用户角色	

表 3.2 faces 表

字段名	数据类型	约束条件	描述	主键
id	INTEGER	NOT NULL	人脸记录 id	PRIMARY KEY AUTOINCREMENT
user_id	INTEGER	NOT NULL, FOREIGN KEY REFERENCES users(id)	关联的用户 id, 外键	
name	TEXT	NOT NULL	人脸对应的姓名	
phone	TEXT		人脸对应的联系 电话	
encoding	BLOB	NOT NULL	人脸的特征编 码，以二进制形 式存储	
image_data	BLOB		人脸的图像数 据，以二进制形 式存储	

表 3.3 logs 表

字段名	数据类型	约束条件	描述	主键
id	INTEGER	NOT NULL	日志记录的唯一标识符	PRIMARY KEY AUTOINCREMENT
action	TEXT	NOT NULL	操作的类型	
details	TEXT	NOT NULL	操作的详细描述	
time	TEXT		操作发生的时间	

### 3.3.2 人脸录入与识别

本设计的核心功能是人脸录入与识别模块。管理员可进行人脸录入，其录入方式支持实时拍摄和本地上传两种模式。在选择实时拍摄时，系统会自动调用设备摄像头，用户调整好姿态后点击拍摄按钮，即可获取人脸图像；若选择本地上传，用户从本地存储中选取符合要求的人脸图片文件。上传人脸图像时，需填写用户名、用户电话等必要信息。系统后端接收到图像数据后，将利用基于迁移学习框架的人脸识别模型对图像进行处理。系统将提取的人脸特征信息、用户填写的相关信息，以及图像的二进制码，一同存储至数据库的faces表中。

在用户进行人脸识别时。在选择开启摄像头后，系统实时捕获视频流，借助OpenCV的Haar级联分类器和HOG特征的检测方法，定位视频帧中的人脸。系统会对检测到的人脸提取特征向量，并与数据库faces表中存储的人脸特征信息进行比对。在比对过程中，系统通过计算人脸特征向量之间的相似度来判断是否为同一人。系统设定了相似度阈值为80%，当检测到的人脸与存储的人脸特征信息相似度达到或超过该阈值时，系统判定为同一人，随即控制门禁开启，并播放“欢迎光临”的语音提示；若相似度低于阈值，则判定识别失败，系统会提示“识别失败请重试”，并在十五秒后自动重新启动人脸识别流程。

### 3.3.3 用户管理模块的实现

用户管理中通过设计的 web 界面对系统进行管理，通过首页登录选择管理员或是普通用户进行登录，选择对应身份登录是系统通过调取数据库中存储的账户信息比对其输入的信息是否正确。选择管理员身份登录后，可进行人脸信息的录入，管理已存储在数据库中的人脸信息。管理账户信息，可添加用户，对已有用户进行修改删除。查看系统的运行日志，方便管理员进行管理系统。选择普通用户登陆后，可查看该账户下的人脸信息并进行人脸识别的测试。可以修改账户名、姓名、手机号、密码。

### 3.3.4 系统日志查看功能实现

系统将管理员添加人脸时记录、用户添加人脸时记录、其他关键操作（如登录失败等）等操作通过 Flask 后端 SQL 将监控到的系统日志存储到 SQLite 数据库中并使用 Bootstrap 前端展示给管理员，赋予管理员查看系统日志权限使其可以查看以存储在数据库中的操作记录。使管理员可以更加便捷的管理系统。

## 4 系统实现与关键技术

### 4.1 开发环境与模型训练配置

#### 4.1.1 系统开发环境

系统基于 Windows 系统开发，使用 PyCharm IDE 搭建环境。系统采用 Python 作为主要开发语言，数据库使用轻量级数据库 SQLite，存储人脸特征和用户信息。使用 Flask 作为后端框架，HTML/CSS/JavaScript 设计系统前端界面。

#### 4.1.2 模型训练配置

在模型训练，通过对图像进行标准化处理，使其符合模型输入要求。并采用 7:2:1 的比例划分训练集、验证集和测试集，确保模型在不同数据集上的性能评估具有可靠性和有效性。模型训练配置如表 4.1 所示。

表 4.1 模型训练配置表

组件	配置细节
优化器	SGD，学习率 lr=1e-4，动量 momentum=0.9，权重衰减 weight_decay=1e-4
损失函数	交叉熵损失 (CrossEntropyLoss)
学习率调度	StepLR，每 10 个 epoch 学习率乘以 gamma=0.5，逐步降低学习率防止过拟合
早停策略	连续 5 个 epoch 验证损失未下降则终止训练，避免无效迭代
设备支持	优先使用 GPU，自动检测设备并转移张量，显存使用效率优化 (non_blocking=True)

### 4.2 关键技术实现

#### 4.2.1 数据集介绍

数据集选用 vggface\_48w\_align 数据集用于人脸识别模型的训练与优化。该数据集在人脸识别领域具有重要地位，包含 48 万张经过精心处理的人脸图像。并且所有图像均进行了对齐操作，使得人脸在图像中的位置和角度实现了标准化，减少了因人脸位置和角度差异带来的干扰。与其他热门数据集相比，vggface\_48w\_align 数据集具有独特优势如表 4.2 所示。其图像规模适中，身份多样性丰富，侧重全球多种族、多年龄均衡分布，更能模拟现实世界中复杂多变的人脸情况。场景复杂度方面，包含室内外场景混合，涵盖了遮挡（如帽子、口罩）、低光照、多角度等多种情况，提升了数据的真实场景代表性。数据预处理已完成人脸对齐，无需额外复杂处理，有助于模型更精准地聚焦于人脸特征本身。虽然标签完整性上主要标注身份 ID，部分元数据未公开，但对于人脸识别

别模型训练而言，身份 ID 是关键信息，不影响其在本系统中的应用。综合考虑，`vggface_48w_align` 数据集能够满足本系统对多样化、高质量人脸数据的需求，有助于训练出更具鲁棒性和准确性的人脸识别模型。

表 4.2 数据集对比表

维度	<code>vggface_48w_align</code>	VGGFace2	MS-Celeb-1M
图像规模	48 万张对齐人脸图像	约 331 万张图像，9131 个身份	超 1000 万张图像，10 万 + 名人身份
身份多样性	覆盖数千身份，侧重全球多种族、多年龄均衡分布	包含更广泛的身份（9k+），但种族分布偏欧美	以东亚名人为主（如中国、韩国明星），身份高度集中于公众人物
场景复杂度	室内外场景混合，含遮挡（帽子 / 口罩）、低光照、多角度	以互联网公开图像为主，光照 / 姿态变化较大	主要为名人高清肖像，背景简单、姿态标准化
数据预处理	已完成人脸对齐（Align），统一人脸位置与角度	提供原始图像与对齐后版本（需自行处理）	部分图像含对齐标注，但需二次清洗
标签完整性	主要标注身份 ID，年龄 / 性别 / 遮挡类型等元数据未公开	提供身份、年龄、性别、光照条件等详细标注	标注身份 ID 及部分属性（如所属领域、国籍）
典型用途	通用人脸识别、跨场景鲁棒性研究	大规模身份识别、细粒度特征学习	超大规模模型训练、名人检索系统开发

#### 4.2.2 人脸识别模型训练

人脸识别模型基于迁移学习框架构建，以预训练的 ResNet50 为骨干网络，对 `vggface_48w_align` 人脸数据集进行微调。为了验证 ResNet50 骨干网络的性能，选取 `vggface_48w_align` 数据集的 10% 分别训练 ResNet50、AlexNet、LeNet-5 三种不同的网络模型，并以损失函数及验证准确率作为模型性能的评价指标。损失（Loss）是衡量模型预测值与真实值之间差异的指标，损失越小说明模型预测越准确。三种模型在训练工程中每一轮（Epoch）的损失变化情况如图 4.1 所示，从图中可以看出 ResNet50 的起始损失较高，但在训练过程中呈现出稳定下降的趋势，说明随着训练轮数增加，模型在训练集上的预测能力不断提升，对训练数据的拟合效果越来越好，能够有效利用训练数据进行学习，不断优化自身参数，提升模型性能。相比之下，虽然 AlexNet 的损失相对稳定，下降幅度较小，但其在训练集上的性能提升较为缓慢；LeNet-5 的损失虽然也在下降，但下降速度比 ResNet50 慢，说明其在训练集上的学习效率相对较低。

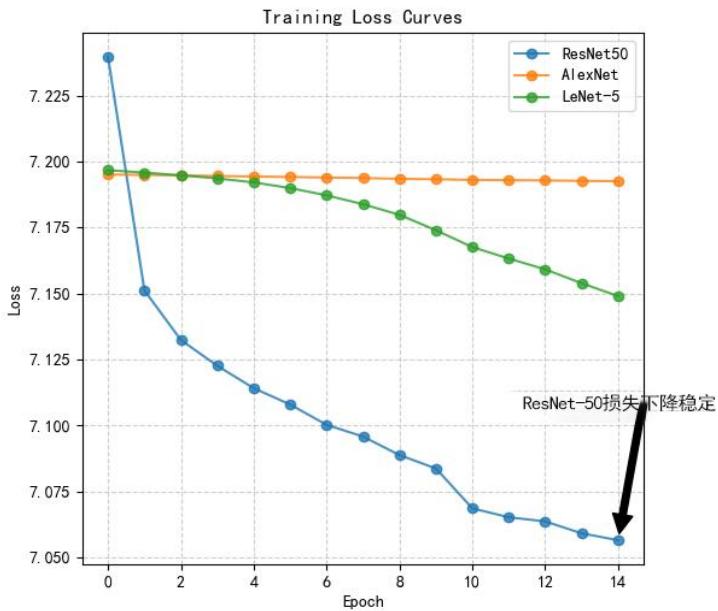


图 4.1 模型训练损失曲线图

预测的样本数占总样本数的比例，是评估模型性能的重要指标之一。验证准确率曲线如图 4.2 所示，ResNet50 始终能保持较高的准确率，表明其在实际分类任务中表现更优，对未知数据的泛化能力和分类能力更强。综上所述，ResNet50 在训练损失与验证准确率中其性能都优于其它两个模型，所以人脸识别模型选用 ResNet50 网络结构训练。

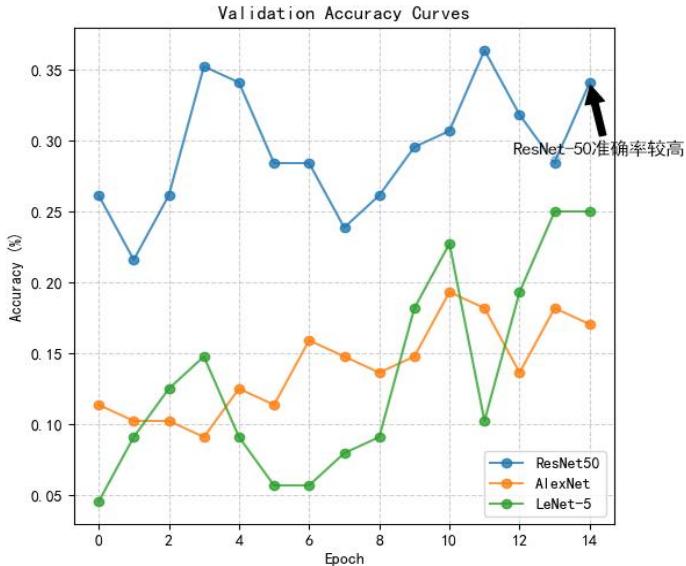


图 4.2 模型训练准确率曲线图

为实现高效迁移学习，采用分层参数冻结策略。冻结底层（layer0-layer1）参数，保留预训练模型学习到的边缘和纹理等基础特征提取能力，这些基础特征在不同的视觉任务中具有通用性。同时，释放中高层（layer2-layer4）参数，使其能够适配器官结构、身份差异等人脸语义特征的学习。通过替换全连接层，实现类别数自适应输出，以匹配本系统的实际需求。训练流程如图 4.3 所示。

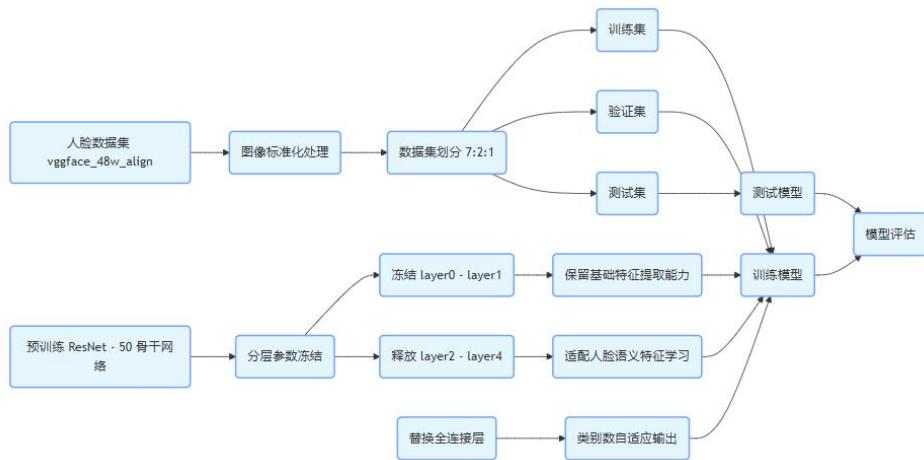


图 4.3 人脸识别模型训练流程图

在训练过程中，记录训练损失和验证损失，以及验证准确率，并绘制训练曲线如图4.4所示。从训练曲线可以清晰看到，随着训练轮数增加，模型的准确率不断上升，验证损失逐渐下降。经过多轮训练，在第三十轮时，模型的准确率达到了82.26%，表明模型在训练集和验证集上取得了较好的性能，具备一定的泛化能力，能够有效应用于本系统的人脸识别任务。

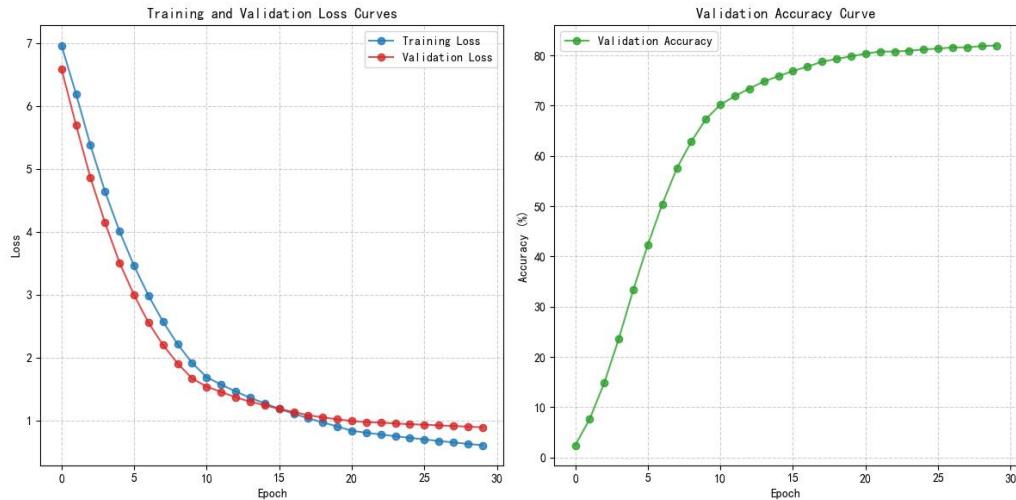


图 4.4 ResNet50 模型训练结果图

### 4.3 系统界面与功能展示

#### 4.3.1 用户登陆与注册

门禁系统界面设计简洁直观，易于操作。在首页，提供了用户类型选择（普通用户/管理员）、用户名和密码输入框，以及注册链接，方便用户进行身份验证和注册。



图 4.5 登录界面

用户注册界面，各输入框提示明确，要求用户填写用户名、密码、确认密码、姓名、手机号等信息，下方的注册按钮用于提交注册信息，整个流程简单明了。



图 4.6 注册界面

### 4.3.2 用户界面展示

管理员界面功能丰富，人脸录入区域提供图像上传、信息填写等功能；人脸管理区域可对已录入的人脸进行查看、删除等操作；用户账户管理区域能进行添加用户、修改

用户信息和权限等操作；系统日志查看区域可展示系统操作记录，方便管理员进行管理和审计。



图 4.7 管理员界面

### 管理员添加人脸

The 'Add Face' form includes fields for 'Select User' (选择用户) with a dropdown menu showing 'zs', 'Name' (姓名), 'Mobile Number' (手机号), and 'Input Method' (录入方式) with options for 'Upload Picture' (上传图片) and 'Take Photo Input' (拍照录入). It also features a 'Upload Photo' (上传照片) section with file selection buttons and a 'Submit' (提交) button.

图 4.8 添加人脸界面

System Log			
ID	Operation	Details	Time
1	Face Added	User 2 added a face with name zs and phone 18214478182	2025-04-19 01:27:05
2	Face Added	User 2 added a face with name zss and phone 18515744759	2025-04-19 01:37:07
3	Face Updated	User updated face with id 1 to name zs and phone 18214478182	2025-04-19 02:03:09
4	Face Deleted	User deleted face with id 2	2025-04-19 02:03:16
5	Admin Added Face	Admin added a face for user 2 with name zss and phone 18515744759	2025-04-19 02:50:58
6	Face Deleted	User deleted face with id 4	2025-04-19 02:56:08

图 4.9 系统日志界面

ID	用户名	姓名	手机号	角色	操作
1	admin	管理员	13800138000	admin	
2	zs	zs	18293011478	user	
3	zj	za	18214478182	user	

图 4.10 账户管理界面

ID	用户名	姓名	手机号	操作
46	zj	zss	18214478182	
47	zs	zaa	18515744759	
48	zs	zb	18515744759	

图 4.11 查看所用人脸界面

在普通用户界面下用户可查看个人的人脸信息，修改用户账户信息。

### 用户仪表盘

账户信息

用户名	姓名	手机号	
zs	zs	18293011478	

### 人脸信息管理

姓名	手机号	操作
zss	18515744759	
zaa	18214478182	

图 4.12 普通用户界面

### 4.3.3 人脸识别门禁

人脸识别门禁界面，视频区域实时显示摄像头捕捉的画面，识别结果区域会及时展示识别情况，如识别成功显示用户名、相似度等信息，识别失败则提示相应信息。操作按钮布局合理，“开启摄像头”“关闭摄像头”按钮控制摄像头的使用，方便用户操作。



图 4.13 人脸识别界面

#### 4.4 系统测试

系统测试主要包括登录与注册功能测试，人脸录入与人脸识别功能测试，用户页面功能测试。通过测试确保整个系统符合实际应用需求，同时还要确保系统在性能、可靠性、安全性上达到预期要求。用户登录与注册功能测试如表 4.3 所示。

表 4.3 登录与注册功能测试表

测试用例	测试说明	预期结果	输出	判定结果
登录测试	在登录界面点击登录操作	提示账号信息不能为空	提示账号信息不能为空	通过
	当账号为空、密码不为空点击登录	提示账号不可为空	提示账号不可为空	通过
	当密码为空、账号不为空时点击登录	提示密码不可为空	提示密码不可为空	通过
	当输入错误账户或者密码时点击登录	提示账号或密码错误	提示账号或密码错误	通过
	在输入正确账号密码进行登录时	登陆成功，进入主界面	登陆成功，进入主界面	通过
注册测试	在进入注册界面后未进行操作时点击登录	提示账号信息不能为空	提示账号信息不能为空	通过
	注册时用户名、密码、姓名、手机号中有任意字段为空时点击注册	提示相应字段不能为空	提示相应字段不能为空	通过
	注册时输入已有账户	提示该账户已存在	提示该账户已存在	通过
	注册时输入符合要求的用户名、密码、姓名、手机号并点击注册	注册成功，并跳转至登陆界面	注册成功，跳转至登陆界面	通过

人脸录入及人脸识别功能测试结果如表 4.4、表 4.5 所示。

表 4.4 人脸录入功能测试

测试用例	测试说明	预期结果	输出	判定结果
人脸录入	在进入录入界面后未进行操作时点击提交	提示用户信息不能为空	提示用户信息不能为空	通过
	当姓名为空、手机号、照片不为空时点击提交	提示姓名不能为空	提示姓名不能为空	通过
	当手机号为空、姓名、照片不为空时点击提交	提示手机号不能为空	提示手机号不能为空	通过
	当照片为空、姓名、手机号不为空时点击提交	提示请上传照片或拍照	提示请上传照片或拍照	通过
	在输入正确姓名、手机号，并上传照片后点击提交	添加成功，自动跳转至首页，并可查看到以录入的人脸信息	添加成功，自动跳转至首页，并可查看到以录入的人脸信息	通过

表 4.5 人脸识别功能测试

测试用例	测试说明	预期结果	输出	判定结果
人脸识别	在进入人脸识别界面后开启摄像头，将人脸进行遮挡	提示未检测到人脸	提示未检测到人脸	通过
	在进入人脸识别界面后开启摄像头，使人脸变化不同角度	提示识别成功	提示识别成功	通过
	在进入人脸识别界面后开启摄像头，使用未录入的人脸进行识别	提示识别失败	提示识别失败	通过
	在进入人脸识别界面后开启摄像头，将人脸在复杂光照进行识别	提示识别成功	提示识别成功	通过
	在进入人脸识别界面后使用上传照片方式下的人脸信息进行识别	提示识别成功	提示识别成功	通过
	在进入人脸识别界面后使用拍照上传图像的方式的人脸信息进行识别	提示识别成功	提示识别成功	通过

用户页面功能测试表 4.6。

表 4.6 用户页面功能测试

测试用例	测试说明	预期结果	输出	判定结果
管理员页面功能测试	在进入管理员页面后点击查看人脸	进入页面后可对已添加的人脸进行查看、修改和删除	进入页面后可对已添加的人脸进行查看、修改和删除	通过
	在进入管理员页面后点击账户管理	进入页面后可对已有账户进行查看、修改和删除；可以添加新用户	进入页面后可对已有账户进行查看、修改和删除；可以添加新用户	通过
	在进入管理员页面后点击系统日志	进入页面后可查看系统运行日志；并实时更新日志信息	进入页面后可查看系统运行日志；并实时更新日志信息	通过
	在进入普通用户页面后点击编辑账户	进入页面后可对用户名，姓名，手机号，密码进行修改	进入页面后可对用户名，姓名，手机号，密码进行修改	通过
	在进入普通用户页面后点击查看人脸功能	可查看该账户录入的人脸图像	可查看该账户录入的人脸图像	通过
	在进入普通用户页面后点击测试人脸识别	跳转至人脸识别界面	跳转至人脸识别界面	通过

经测试，基于 OpenCV 的人脸识别门禁系统在功能方面基本满足设计要求，大部分功能达到预期指标。但在复杂光照和戴口罩场景下的识别率仍需进一步提升。

## 5 总结与展望

### 5.1 研究成果总结

本文设计并实现了基于 OpenCV 的人脸识别门禁系统。系统采用 B/S 架构，结合 OpenCV、Flask、SQLite 等技术，实现了人脸录入、实时识别、门禁控制、用户权限管理和操作日志记录等功能。在模型训练时，选用 vggface\_48w\_align 数据集，按 7:2:1 划分了训练集、验证集与测试集。以 ResNet50 为骨干网络，通过冻结底层参数、微调中高层参数，适配人脸语义特征学习，替换全连接层实现类别数自适应输出。经实验对比，ResNet50 在训练损失与验证准确率上优于 AlexNet、LeNet-5，最终模型准确率达 82.26%，在复杂环境下具备一定的鲁棒性，从人脸捕捉到控制门禁开关可在 15 秒内完成，实现了快速、精准的身份验证，满足现代门禁系统对安全性和实时性的要求。

### 5.2 未来展望

尽管设计的系统取得了一定成果，但仍有改进空间。在人脸识别准确率方面，未来可探索更先进的深度学习模型，通过基于 Transformer 的人脸识别模型，或结合多种模型的优势，进一步提高识别精度，降低误识别率。在应对复杂环境方面，除了多模态融合技术，还可以研究基于边缘计算的解决方案，在设备端进行部分数据处理，减少网络传输延迟，提高系统在恶劣网络环境下的性能。

在功能拓展上，可增加与其他安防系统的联动功能，与监控系统、报警系统集成，实现更全面的安全防护。同时，加强对用户隐私的保护，采用更严格的数据加密和访问控制技术，确保用户数据安全。通过不断优化和拓展，使本系统在智能安防领域发挥更大的作用，为社会安全提供更可靠的保障。

## 参考文献

- [1] 刘蒸蒸. 基于 PCA 和 LBP 在 OpenCV3.0 平台人脸识别系统的开发[D]. 天津理工大学,2018
- [2] 焦双健,王志远. 卷积神经网络的人脸识别门禁系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2020,20(09):47-50.
- [3] 陈雪敏. 基于 SE-ResNet 模型的多角度人脸识别系统设计[J]. 贵阳学院学报（自然科学版）,2020,15(4):10-13
- [4] 白燕燕,陈洁浩,范亚州,张景彧. 基于多模态融合的人脸识别门禁系统设计[J]. 电子制作,2022,30(12):28-30+34.
- [5] 龙婧. 基于 OpenCV 人脸识别门禁系统的设计与实现[J]. 信息与电脑,2023,35(16):151-153
- [6] 童友健. 基于人工智能的人脸识别智能锁系统设计分析[J]. 信息系统工程,2024,(1):42-45
- [7] 张杜娟,丁莉,吴玉莲. 基于 Python+Dlib 方法的人脸识别技术研究[J]. 电子设计工程,2024,32(1):191-195
- [8] 郝雪燕. 基于人脸识别技术的学生宿舍门禁系统设计[J]. 数码世界,2020,(11):69-70.
- [9] 颜子凤. 基于深度学习的人脸识别门禁系统设计[D]. 西安石油大学,2022.
- [10] 尚晓锐. 基于深度神经网络的人脸识别校园门禁系统设计与实现[D]. 重庆理工大学, 2020.
- [11] 吴立军,宁睿,侯德华,万鸾飞,刘彦. 基于人脸识别的智能门禁系统设计 [J]. 河南科技,2021,40(26):19-21.
- [12] 何婧媛,李沐阳,田原,田琴琴. 基于深度学习的人脸识别系统的设计与实现[J]. 江西科学,2023,41(2):400-404
- [13] 刘二毛,智敏. 融合 CNN 与 Transformer 的跨年龄人脸识别[J]. 内蒙古师范大学学报：自然科学版,2024,53(1):53-60
- [14] Y. Golovachev, Y. Husarsky and A. Zeivald, "CPU Performance Analysis of Running a Face Recognition Algorithm on Raspberry Pi Using Machine Learning," 2024 IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas, Biomedical Engineering and Electronic Systems (COMCAS), Tel Aviv, Israel, 2024, pp. 1-4,
- [15] R. Nurhadhi, L. Kamelia, R. R. Nurmala, S. Katresnawati, D. Sutisna and P. P. Nur Chidayah, "Multiple Faces Recognition Model for Automatic Attendance Using Multi-task Convolutional Neural Network and Support Vector Machine," 2024 10th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Batam, Indonesia, 2024, pp. 1-6
- [16] G. A. Rani, A. Harshitha, C. S. Reddy, A. Yogendra and A. Sailaja, "Real-Time Periocular Based Face Recognition System," 2024 7th International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT), Kollam, India, 2024, pp. 1381-1386
- [17] Z. Sun, C. Feng, I. Patras and G. Tzimiropoulos, "LAFS: Landmark-Based Facial Self-Supervised Learning for Face Recognition," 2024 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Seattle, WA, USA, 2024, pp. 1639-1649
- [18] Freha Mezzoudj,Chahreddine Medjahed. Efficient masked face identification biometric systems based on ResNet and DarkNet convolutional neural networks[J]. International journal of computational vision and robotics,2024,14(3):284-303

## 致 谢

当这篇论文顺利完成之际，我的内心被无尽的感激与不舍所充盈。此刻，我向每一位在这段学术探索之路上给予我引导、支持、激励以及陪伴的人，倾诉我最为真挚的感激之情。

我诚挚地感谢我的导师尉雅晨老师，从设计选题、框架构建再到内容钻研，每一步都凝聚着导师的智慧与心血。导师严谨的治学态度、深厚的学术造诣和无私的奉献精神，为我树立了学术典范，激励着我在探索未知的道路上奋勇前行。每当我遇到困难和疑惑时，导师都会耐心倾听，给予宝贵的建议和解决办法，让我受益匪浅。在此，向导师致以最深切的敬意与感激。

同时，向参与评审及答辩的所有老师郑重致谢。你们提出的宝贵意见和建议，不仅是对我研究成果的检验，更是推动我未来学术发展的动力。我会认真对待每一条反馈，不断完善自我，期望在学术之路上走得更远。

最后，诚挚感谢每一位给予我帮助和支持的人！正是你们的陪伴与共同努力，让我的学习生涯充满意义与光彩。未来，我会怀揣感恩之心继续前行，在学术探索的道路上不懈追求，用实际行动回报社会，不负时光。

## 关于学位论文使用授权说明

本人完全了解兰州资源环境职业技术大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文的复印件，允许该论文被查阅和借阅；学校可以公布该论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存该论文。

(涉密的学位论文在解密后应遵守此规定)

签 名：张俊龙 导师签名：张俊龙 日 期：2025.5.30