

文章编号: 2096-1618(2022)03-0248-05

基于多种生物特征识别的 RFID 门禁系统设计

包俊, 张新有, 朱宏颖, 赵琦
(西南交通大学计算机与人工智能学院, 四川 成都 611756)

摘要: 由于对智能门禁系统需求的日益提升和对个人隐私数据保护的日益重视, 将嵌入式技术与生物特征识别技术相结合, 设计了基于树莓派和多种生物特征识别的 RFID 门禁系统。结合开源的 OpenCV 和 Dlib 实现人脸特征的提取和认证, 使用 AS608 指纹识别模块用于人体指纹特征数据的提取和指纹验证, 用 RFID 卡片保存人体的生物特征数据, 并通过 MFRC522 模块实现卡片数据的读取, 实现门禁系统的身份认证。通过测试, 系统较好地实现了门禁系统的身份验证功能, 同时具有操作简单、识别速度快、数据安全保护等多种优点。

关键词: 人脸识别; 指纹识别; 树莓派; RFID; Dlib

中图分类号: TP309

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2022.03.002

0 引言

随着计算机技术、传感器技术和生物特征识别技术的快速发展, 生物特征识别技术已被广泛应用于金融支付、身份鉴定等多种重要场合^[1]。其中, 生物特征识别技术用于门禁系统的验证也受到了越来越多用户的信赖和支持, 许多高档小区、办公大楼、高校宿舍及实验室等重要场合, 对智能门禁系统的需求逐步提升, 且新冠疫情对智能门禁系统减少人工参与及增强安全性等方面提出了进一步要求^[2]。

人体的生物特征具有唯一性和稳定性, 将生物特征识别用于门禁系统, 便捷的同时也极大地提升了门禁系统的安全^[3]。传统的生物特征识别门禁系统大多将用户的生物特征信息通过网络传输、统一存储在特定地点, 一旦遭到攻击很容易泄露用户生物特征信息。且仅有一种生物特征数据认证的门禁系统, 并没有多种生物特征认证的多重保障安全。随着对自身生物特征数据的重视程度越来越高, 用户开始不信任第三方平台统一保存自身生物特征数据, 不愿将自身生物特征信息交于第三方平台保管。

本系统结合了 IC 卡技术和生物特征识别技术, 设计了一种兼备高识别率和高安全性的门禁系统^[4]。将人脸和指纹信息加密存于 IC 卡中, 通过现场比对 IC 卡中信息与人体信息是否一致进行身份验证, 以多重认证的方式提高系统安全性, 避免用户生物特征数据网络传输导致的数据泄露, 解决了人体生物特征数据集中存放这一问题, 提高数据安全性, 降低用户对自

身生物特征数据丢失和滥用的担忧。

1 系统总体设计方案

系统主要由主控模块、人脸识别模块、指纹识别模块、RFID 读写模块、电机驱动模块、语音播报模块、Windows 客户端软件及显示器组成。各个模块通过相互协作, 完成整个系统的发卡和验证功能。系统分发卡端和读卡验证端两个部分。

就发卡端而言, 管理员统一管理整个系统发卡流程。通过 Windows 客户端软件, 保存用户基本信息到 Windows 平台的 MYSQL 数据库中, 同时发送命令给树莓派服务器(主控模块)。树莓派服务器的各个模块协同工作, 采集用户的生物特征数据并保存到 RFID 卡片中^[5]。

在读卡验证端, 用户将从管理员处得到含有自身生物特征数据的卡片, 用于门禁系统的身份验证。若门禁系统验证成功, 则由验证端系统自动将通过验证用户的卡号及验证时间保存到系统的后台日志记录里, 并同时启动语音播报模块、显示模块及电机驱动模块。其中系统发卡端模块连接框如图 1 所示。

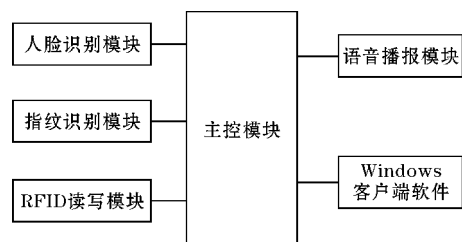


图1 系统发卡端模块连接框图

发卡端主要由人脸识别模块、指纹识别模块、

RFID 读写模块、语音播报模块、主控模块及 Windows 客户端软件 6 个部分组成。人脸识别模块和指纹识别模块用于人脸特征、指纹特征的提取;RFID 读写模块用于人脸和指纹特征的 IC 卡读写;语音播报模块用于配合 Windows 客户端软件,提示管理员人体特征提取和保存操作是否成功;Windows 客户端软件作为客户端配合树莓派主控模块实现发卡人员基本信息的登记、用户操作命令的发送和接收服务器反馈的结果。

读卡验证端与发卡端的主要区别是增加了电机驱动模块用于模拟门禁系统的打开,并增加了显示模块,显示摄像头当前用户的脸及用户验证的结果。系统读卡验证端各个模块连接框如图 2 所示。

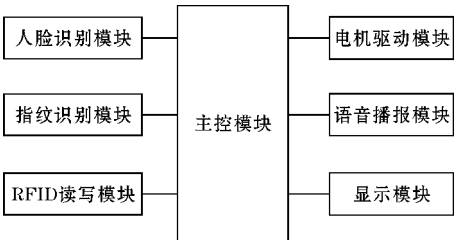


图 2 系统读卡验证端模块框图

2 系统模块选型

系统的主控模块选择的是树莓派 4B 开发板,人脸采集采用树莓派自带的 CSI 摄像头,指纹识别模块采用的是正点原子公司的 AS608 光学指纹采集仪,RFID 读写模块采用 MFRC522 模块,电机驱动模块采用 L298N,语音播报模块采用 JQ8900。

2.1 主控模块

系统采用树莓派 4B 作为系统设计的主控核心,用于处理与各个模块的交互。树莓派是一款基于 Linux

系统、只有一张信用卡大小的卡片式计算机,是英国慈善组织专门为计算机编程教育而设计。它以 SD 卡为内存硬盘,并提供丰富的外设接口和通用 IO 引脚,能执行 PC 机的多种功能,普遍应用于嵌入式和物联网领域^[6]。本门禁系统采用它作为主控模块,完全满足系统功能需求。

2.2 其他模块

人脸识别模块通过树莓派官方的 CSI 摄像头作为硬件,并通过开源的 OpenCV 和 Dlib 实现人脸数据的采集和人脸特征数据的提取。特征提取采用 Dlib 中 Face _Recognition 深度模型来实现,该模型特别兼容树莓派,能够使用树莓派进行多核计算,充分发挥其性能,且使用 Labeled Faces in the Wild 人脸数据集进行测试,具有 99.38% 的准确率^[7]。当需要进行人脸验证时,只需要通过该模型实时计算当前验证用户的人脸特征与 RFID 卡片中存储的人脸特征之间的欧式距离,并与系统设置的阈值进行比较,就可以进行身份认证。

指纹识别模块 ATK-AS608 主要通过 UART 与树莓派进行通信,其内置了指纹特征提取算法,通过命令的一发一收,即可实现指纹图像的采集、指纹特征数据的提取、指纹的比对等^[8]。MFRC522 模块通过 SPI 接口与树莓派通信,并通过 14443A 协议将面部和指纹特征数据存入 S70 卡片中。

L298N 电机驱动模块需要 12 V 的供电电压,由于树莓派板载外设引脚没有 12 V 的电压引脚,因此采用独立的 12 V 稳压电源供电。JQ8900 语音播报模块采用一线控制模式对所需播放语音进行触发播放,显示模块采用 mini-HDMI 与树莓派进行数据传输,显示认证信息。本系统分为发卡端和读卡验证端两个部分,在硬件配置上,两个部分模块几乎一致,模块的硬件选型及其与树莓派之间的通信方式如表 1 所示。

表 1 硬件模块选型汇总

模块名称	硬件选型	与主控连接方式	选型原因/特点
人脸识别模块	树莓派专用摄像头	CSI 接口	支持分辨率为 2592×1944 的图片拍摄,与树莓派连接无需驱动,配置简单
指纹识别模块	ATK-AS608	UART	内置 DSP 运算单元,集成了指纹识别算法。
RFID 读写模块	MFRC522	SPI	支持协议多、低功耗。传输速率高达 424 Kbit/s,支持读写多种卡片
电机驱动模块	L298N	普通 IO 引脚	操作简单,可通过低电压控制高负载,可同时控制两路电机。
语音播报模块	JQ8900	普通 IO 引脚	内部采用 Flash 模拟 U 盘进行数据存储,语音拷贝简单,支持一线控制模式。

3 系统软件设计

如前所述,系统分发卡端和读卡验证端两部分。

发卡端由 Windows 端作为客户端通过 Socket 发送命令给树莓派服务端,操作各个模块实现人体生物特征的提取和保存,并将用户的基本信息保存在 Windows 客户端。读卡验证端主要由树莓派控制各个模块,实

现人体生物特征的比对以及门禁系统的打开。

3.1 发卡端

发卡端程序设计分为人脸识别程序设计、指纹识别程序设计、Windows 客户端软件设计、RFID 读写程序设计、语音播报模块程序设计及树莓派服务器软件设计 6 部分。主要对人脸识别、指纹识别和 Windows 客户端程序 3 个模块的设计进行阐述。

3.1.1 人脸识别程序设计

系统使用 OpenCV 采集图像,并将图像设定为 640×480 大小,减少后续人脸检测及特征提取计算损耗。使用 OpenCV 将图像灰度化和直方图均值化,减少由于色彩和亮度等造成的人脸检测的干扰^[9]。

利用 OpenCV 自带的 Haar 特征分类器进行人脸检测,并将具有人脸的图像通过 Dlib 的深度学习模型 Face_Recognition 进行人脸特征的提取,使用 ResNet 网络模型多重卷积得到人脸 128 维度的特征数据^[10-11]。在进行人脸识别验证时通过特征训练集模型 shape_predictor_68_face_landmarks. dat 获取人脸的 68 个特征点,然后对侧脸等进行人脸矫正,提升人脸识别的准确率^[12]。人脸特征提取的程序流程如图 3 所示。

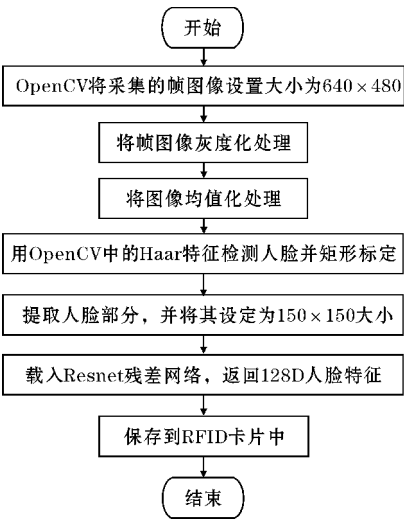


图 3 人脸特征提取程序流程图

3.1.2 指纹识别程序设计

指纹识别模块 AS608 内置指纹特征提取算法,能够将用户指纹图像提取为 768 字节的特征数据^[13]。其内置两个指纹特征缓冲区 CharBuffer1 和 CharBuffer2,树莓派通过发送相应的命令给指纹模块,让 CharBuffer1 和 CharBuffer2 中存储的特征数据进行比对,并通过串口将比对的结果反馈给树莓派。其中,对于发卡端而言,提取指纹特征的程序设计流程如图 4 所示。

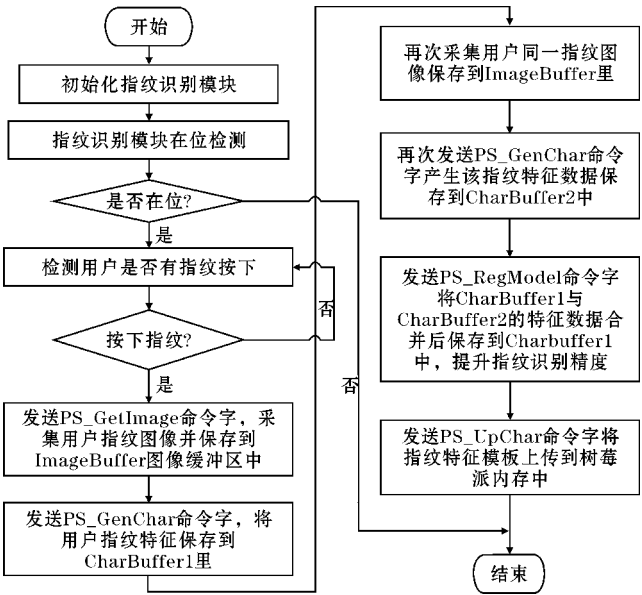


图 4 指纹识别模块程序设计流程图

3.1.3 Windows 客户端程序设计

Windows 客户端软件设计的初衷是为了方便普通用户使用,能够通过图形化界面操作实现用户生物特征的提取,并保存到 RFID 卡片中完成系统发卡过程。Windows 客户端采用多线程编程和网络编程,通过两个线程实现与树莓派服务器之间的命令传输和发卡用户人脸视频流传输,两个线程都使用了 Socket 与树莓派服务器构建连接,采用 TCP 局域网传输安全可靠且不会造成用户隐私数据泄露。其软件设计流程图如图 5 所示。

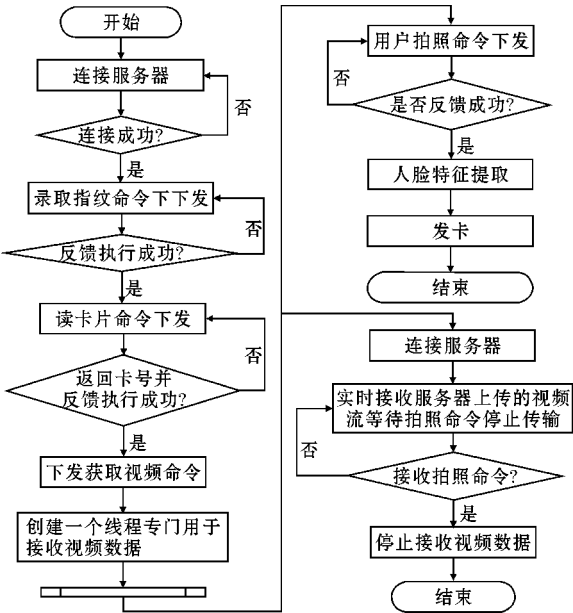


图 5 Window 客户端软件流程设计

3.2 读卡验证端

读卡验证端软件程序设计分为人脸识别程序设计、指纹识别程序设计、RFID 读写程序设计、电机驱动

程序设计、语音播报程序设计和显示程序设计 6 部分。其中,人脸识别及指纹识别程序设计其原理和方法与发卡端相同,只是程序执行流程不同,故在此不再赘述,只对 RFID 读写、电机驱动和语音播报 3 个模块的程序设计内容进行阐述。

3.2.1 RFID 读写程序设计

RFID 卡的读写是本系统设计的关键部分,承担用户特征数据存储的任务。系统使用 MFRC522 模块将人脸与指纹特征数据保存到 RFID 卡之中,并从 RFID 卡片中读取数据用于用户身份认证。其主要的工作步骤包括寻卡、选卡、防冲突、卡片密码验证、卡片数据读写等操作,其程序流程如图 6 所示^[14]。

3.2.2 电机驱动程序设计

电机驱动模块采用的是 L298N,该驱动模块采用 12 V 稳压电源单独供电。将树莓派与该模块连接后,通过 GPIO 引脚实现对步进电机的控制。当用户身份认证成功后,步进电机转动 90°用以模拟门禁系统打开。待打开以后,等待 3 s 将步进电机还原角度模拟门禁系统关闭,等待下一位用户身份验证。系统电机设计的程序流程如图 7 所示。

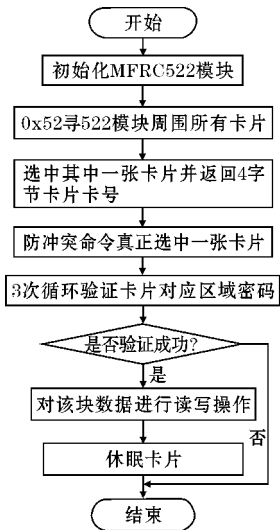


图6 RFID卡读写流程图

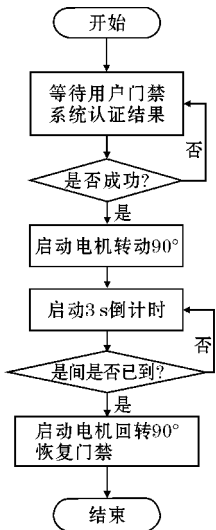


图7 电机驱动程序流程图

3.2.3 语音播报程序设计

语音播报模块 JQ8900 支持 IO 按键触发模式、一线串口通信和两线串口通信 3 种通信模式。因系统设计所需提示音频提示较多,同时树莓派 4B 主控模块所含串口已经被用于指纹模块通信,故本系统设计时采用了一线串口通信模式。其通信采用 SDA 引脚,通过输出高低电平的时序用于与主控模块数据通信。

图 8 所示为一线串口通信时序图,它通过特定的高低电平时序与主控模块通信,并优先发送低位地址。当高电平与低电平时间比为 3 : 1 即表示 1,低电平与高电平时间比为 3 : 1 时即为 0。当需要触发该模块播放音频时,只需要发送相应的命令字和音频编号,便

可以触发无源喇叭,播放相应的音频用于提示管理员或用户操作情况。

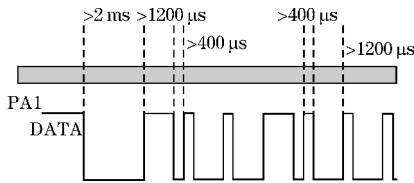


图 8 JQ8900 一线通信时序图

3.3 系统数据安全

系统设计的出发点之一是防止用户生物特征数据的丢失和泄露,因此系统中的人体生物特征数据并没有采用网络传输,也没有统一特定地点存放和保管,而是通过 AES 加密人体生物特征数据以后,以每 16 个字节组成一个数据块,加密后存储到 RFID 卡片中。另外 Windows 客户端软件的 MYSQL 数据库中并没有存储任何生物特征数据,只存储了用于联系用户的基本信息,如卡号、住址/单位和姓名。

此外,RFID 卡片内部是以扇区为单位进行数据存储控制的。每个扇区的最后一块是控制块,其余均为数据块,它们均是以字节为单位进行存储,每块都含有 16 个字节的空间。其中,数据块用于数据存储,控制块用于对该扇区的数据块读写进行密码控制。当 MFRC522 模块与 RFID 卡片进行数据通信时,双方将进行硬件级的 3 次密码认证,只有密码认证成功之后才可以对该扇区中的数据块进行读写操作。

每一张 RFID 卡片出厂自带默认密码,按照控制块密码修改规则将默认密码修改后,只有使用修改的密码验证成功后,才可以对数据块进行读写访问。并且,系统通过 Dlib 提取人的面部特征数据为 128D 的 Float 型数据,通过 AS608 提取指纹数据的大小是 768 字节,两种生物特征数据一共是 1280 字节,刚好是 80 个数据块的大小。因此,系统可以随机乱序分块存储两种生物特征数据。只有知道了乱序的方式,才可以将数据块整合成两种不同的人体生物特征数据,为实现身份认证提供数据^[15]。

因此,本文设计的 RFID 门禁系统,摆脱了传统门禁系统统一地点存放和网络数据传输的不可靠性。即使用户不慎丢失卡片,卡片中的人体生物特征数据被破解得出的可能性也很低,捡到卡的人也无法使用此卡通过门禁系统。

3.4 系统测试

系统测试包括硬件部分和软件部分的测试,其中硬件部分的测试主要是人体生物特征提取和认证,软件部分的测试主要包括系统程序流程的设计及 Windows 客户端的操作。

经过测试,本文设计的多种生物特征识别的 RFID 门禁系统能够准确、高效、简便、安全地完成门禁系统的认证。发卡过程简便,熟练员工平均10 s完成一个发卡流程;门禁系统自动识别过程平均约3 s。同时,在 Dlib 实现人脸识别准确率的99.38%的基础上,本系统也能够实现 99% 的识别准确率。

4 结束语

系统能够准确、高效、简便、安全地完成门禁系统的认证,在保障系统安全性的同时,减少用户对自身隐私数据被私自调用和统一存放的担忧。本系统采用双重生物特征识别技术,加上 RFID 存储技术及 AES 加密技术,将人体生物特征数据用于卡片存储,具有一定的应用价值,可用于高校宿舍、图书馆、实验室以及办公区域等多种场合,前景广阔。

参考文献:

- [1] 田丽,李颖.基于 IPv6 人脸识别考勤管理系统的设计与实现[J].深圳大学学报(理工版),2020,37(S1):165-168.
- [2] 李萌昕.基于人脸识别的山东大学门禁系统建设与实现[J].深圳大学学报(理工版),2020,37(S1):92-94.
- [3] 马帅.基于树莓派的人脸识别门禁系统设计与实现[D].大连:大连交通大学,2018.
- [4] Chao Li, Jin Qi. A two-factor authentication design of fingerprint recognition system based on DSP and RF card[C]. 2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE), 2010:441-445.
- [5] 陈华,张小刚,童调生.一种基于指纹识别的 IC 卡门禁系统[J].计算机工程,2002(7):202-203.
- [6] 吴凯枫,张立新,王军昂,等.基于树莓派的人脸识别门禁系统[J].电子测试,2021(17):5-7.
- [7] 高明,康晓凤,孙典,等.基于树莓派的人脸识别门禁系统[J].软件工程,2021,24(7):49-51.
- [8] 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].国外电子测量技术,2021,40(7):160-163.
- [9] 赵宏,梁喜军,杨玉东,等.嵌入式人脸识别系统的开发[J].长安大学学报(自然科学版),2015,35(S1):293-297.
- [10] Phawinee S, Cai J F, Guo Z Y, et al. Face recognition in an intelligent door lock with ResNet model based on deep learning[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2021, 40(4): 8021-8031.
- [11] 余瑾璨,李慧斌.基于深度学习的人脸识别方法综述[J].工程数学学报,2021,38(4):451-469.
- [12] 汪鹏鹏.基于 face_recognition 的人脸识别平台研究及应用[D].成都:西南交通大学,2019.
- [13] 张乐,王悦.基于 STM32 的指纹识别系统设计[J].沈阳大学学报(自然科学版),2019,31(2):113-117.
- [14] 李明娟,李海龙.单片机和 RFID 技术的智能门禁系统设计[J].实验室研究与探索,2016,35(11):123-126.
- [15] Lamia Rzougaa Haddada, Najoua Essoukri Ben Amara. Double watermarking-based biometric access control for radio frequency identification card [J]. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 2019, 29(11).

Design of RFID Access Control System based on Multiple Biometrics

BAO Jun, ZHANG Xinyou, ZHU Hongying, Zhao Qi

(School of Computing and Artificial Intelligence, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: Due to the increasing demand for smart access control systems and increasing attention to the protection of personal privacy data, the system combines embedded technology with biometric identification technology to design an RFID access control system based on Raspberry Pi and multiple biometric identification. Combining the open source OpenCV and Dlib to realize the extraction and authentication of facial features, with the AS608 fingerprint recognition module for the extraction of human fingerprint characteristic data and fingerprint verification and the RFID card to save the biometric data of the human body, and reading the card data through the MFRC522 module, the access control system's identity authentication can be realized. Through testing, the system has achieved the identity verification function of the access control system, and it also has many advantages, such as simple operation, fast recognition speed, and data security protection.

Keywords: face recognition; fingerprint recognition; raspberry Pi; RFID; Dlib