

智能座舱人脸识别与个性化调控研究

姜长岑

西京学院 电子信息学院, 中国·陕西 西安 710123

摘要: 随着汽车^[1]智能化水平的不断提升, 座椅记忆功能逐渐成为提升驾乘舒适性的重要配置。然而, 现有多数记忆座椅系统普遍存在手动座椅^[2]、以及制造成本较高、调节精度不足以及操作流程相对繁琐等问题。为提升用户体验并实现更精准、高效的座椅调节, 本文提出了一种基于人脸识别^[3]技术的座椅自适应控制方案。本研究首先基于 OpenCV^[4] 图像处理框架, 在单片机平台上完成适用于车载环境的人脸识别算法方案选型与优化; 结合微控制器 (Microcontroller Unit, MCU)^[5] 自动控制技术, 完成座椅调节系统的硬件电路设计与嵌入式控制程序开发; 最终基于单片机^[6] 构建完整电控模块并进行系统验证测试。该设计方案可使用户摆脱传统手动调节动作, 通过人脸信息实现座椅个性化调节管理^[7], 有利于提升用户体验, 减少交通事故的发生^[8]。

关键词: 座椅记忆; 人脸识别技术; OpenCV; 单片机

Research on Face Recognition and Personalized Control in Intelligent Cockpits

Jiang Changcen

School of Electronic Information, Xijing University, China Shaanxi Xi'an 710123

Abstract: With the continuous improvement of automotive intelligence, the seat memory function has gradually become a crucial configuration for enhancing driving comfort. However, most existing memory seat systems generally suffer from issues such as reliance on manual adjustment, high manufacturing costs, insufficient adjustment precision, and relatively cumbersome operational procedures. To elevate the user experience and achieve more precise and efficient seat adjustment, this paper proposes an adaptive seat control scheme based on facial recognition technology. This study first relies on the OpenCV image processing framework to complete the selection and optimization of facial recognition algorithms suitable for the in-vehicle environment on a microcontroller platform. Combined with Microcontroller Unit (MCU) automatic control technology, the hardware circuit design and embedded control program development of the seat adjustment system are accomplished. Finally, a complete electronic control module is constructed based on the MCU, and comprehensive system verification tests are conducted. This design enables users to break free from traditional manual adjustments and achieve personalized seat regulation management through facial information, which is beneficial for enhancing the user experience and mitigating driving safety risks.

Keywords: Seat memory; Facial recognition technology; OpenCV; Microcontroller

1 引言

1.1 研究背景

汽车座椅作为整车人机工程系统中的核心组成部分, 合适的座椅^[9]位置可以给司机提供舒适便捷、安全可靠的驾乘位置, 保持驾驶员清醒的头脑和清晰的视线。但是目前传统车企的手动座椅^[10]或自动座椅放置于昂贵的高级车辆, 导致很多家庭望而却步。并且国内家庭存在多人共用一车情况, 当身高不同的用户使用同一辆车时, 必须重新调节座椅, 极其复杂的操作流程, 导致很多驾驶员不愿意操作^[11]。

多项交通安全表明, 驾驶员疲劳与交通事故发生率之间存在显著关联。相关统计进一步指出, 超过一半的严重

交通事故与驾驶疲劳密切相关。英国交通部研究表明, 疲劳因素在交通事故中的占比约为 10%。不良的驾驶姿态会加速身体疲劳积累, 降低专注程度, 若座椅调节不合理并伴随长时间驾驶, 极易引发颈椎与腰椎不适, 甚至诱发慢性损伤。因此, 开发一种能够自动识别驾驶员身份并快速匹配预设坐姿参数的智能记忆座椅系统, 具有较强的现实需求与应用价值。

1.2 国内外研究现状

国外汽车企业较早开展电动记忆座椅的相关研发工作。主流豪华品牌已在高端车型中普遍配备多组记忆功能, 可记录不同驾驶员的座椅位置参数。然而, 这类系统通常通过车钥匙识别或中控界面选择用户身份, 本质上仍依赖

人为操作，自动化程度有限。其中 Volvo^[12] 汽车早期推出的概念车中探索生物识别在车内的应用，但相关技术还没有成熟方案，多数停留在概念验证阶段。

国内在智能座舱领域发展较为迅速，部分新能源车企将以面部识别应用在车内多媒体账号登陆等功能^[13]，该应用多识别准确率要求较低，即使识别错误也未产生安全隐患。但在车椅调节方面，多数车型仍采用传统电动记忆方式，依赖物理按键或触控选择。

1.3 本文研究内容

本文围绕“低成本、模块化、可独立运行”的设计目标，构建一种基于嵌入式平台的人脸识别记忆座椅电控模块^[14]。通过优化硬件选型与算法实现，在保证识别准确率的前提下降低系统复杂度，实现无需依赖整车高级中控系统的独立加装方案。该研究不仅有助于提升用户体验，也为中低端车型智能化升级提供了可行路径^[15]。

2 系统组成与基本工作原理

2.1 系统组成

基于人脸识别的智能座舱电动座椅调节系统，由电源模块、图像采集模块、人脸检测与识别模块^[16]、主控制单元（MCU 控制系统）^[17]、座椅执行机构驱动模块^[18] 等如图 1 所示。



图1 系统结构框图

2.2 基本工作原理

图像采集模块，即摄像头，用于进行人脸图像信息采集，嵌入在驾驶员前方，当利用该模块进行图像采集后，经过处理的图像被传到人脸识别模型，生成 512 维的特征向量，即每个人的特征向量不同，代表每个人唯一身份码^[19]。当 512 维特征向量与存入的某个特征向量匹配后，

获取开始存入该用户的座椅位置信息，根据 PID 算法高效精准地驱动电动座椅上的电机组，使座椅移动到指定位置。

3 识别方法的选择

随着卷积神经网络（CNN）^[20] 的发展，基于深度学习的人脸识别方法在准确率和鲁棒性上全面超越了传统方法。其中，InsightFace 是由 Deep Insight 团队提出并开源的综合性人脸分析算法框架，代表了当前人脸识别领域的先进水平。相较于早期仅使用交叉熵损失（Soft maxLoss）或三元组损失（TripletLoss）的模型，InsightFace 在特征提取的判别力上进行了根本性的理论创新。

3.1 图像预处理

与传统的 Haar 特征检测不同，InsightFace 框架内集成了如 RetinaFace 或 SCRFD 等先进的深度学习人脸检测算法。这些算法利用特征金字塔网络（FPN）和多任务学习策略，能够同时输出高精度的人脸边界框和 5 个关键点坐标。通过仿射变换进行人脸对齐（五点对齐）和裁剪（112×112），如图 2 图 3 所示，为后续的特征提取提供了高度标准化的输入数据，极大提升了模型对大姿态、遮挡和极端光照的鲁棒性。图 4 展示 5 个关键点的具体信息。



图2 未进行预处理的数据



图3 进行预处理的数据

```

src1 = np.array([[51.642, 50.115], [57.617, 49.990], [35.740, 69.007],
                [51.157, 89.050], [57.025, 89.702]],
                dtype=np.float32)
#---left
src2 = np.array([[45.031, 50.118], [65.568, 50.872], [39.677, 68.111],
                [45.177, 86.198], [64.246, 86.758]],
                dtype=np.float32)
#---frontal
src3 = np.array([[39.730, 51.438], [72.270, 51.138], [56.000, 68.493],
                [42.463, 87.018], [69.537, 87.010]],
                dtype=np.float32)
#---right
src4 = np.array([[46.845, 50.872], [67.382, 50.118], [72.737, 68.111],
                [48.167, 86.758], [67.236, 86.190]],
                dtype=np.float32)
#---right profile
src5 = np.array([[54.706, 49.990], [60.774, 50.115], [76.673, 69.007],
                [55.388, 89.702], [61.257, 89.050]],
                dtype=np.float32)
src = np.array([src1, src2, src3, src4, src5])
src_map = (112: src, 224: src * 2)
arcface_src = np.array(
    [[38.2946, 51.6963], [73.5318, 51.5014], [56.0252, 71.7366],
     [41.5493, 92.3655], [70.7299, 92.2041]],
    dtype=np.float32)
  
```

图4 5个关键点具体位置代码

3.2 特征提取网络 (Backbone)

在人脸数据输入后, InsightFace 通常采用改进的残差网络 (如 LResNet50E-IR、LResNet100E-IR) 或轻量级网络 (如 MobileFaceNet) 作为主干网络提取深层特征, 将输入的人脸图像映射为一个高维 (通常为 512 维) 的特征向量。

3.3 核心算法创新——ArcFace

InsightFace 识别性能的突破主要归功于其核心的 ArcFace (Additive Angular Margin Loss) 算法。传统的 Softmax 损失函数虽然能够实现特征的分类, 但无法保证类内特征的紧凑性和类间特征的差异性。ArcFace 算法将人脸特征和权重向量映射到一个超球面上, 并通过在真实类别的角度上直接加上一个固定的角度间隔 (Angular Margin, m), 从而在角度空间中严格惩罚特征分布。在相似度计算中, 算法采用余弦相似度 (Cosine Similarity) 来进行计算, 如利用下面公式: $sim = \frac{feat1 \cdot feat2}{\|feat1\| \times \|feat2\|}$ 返回值是一个浮点数, 数值越接近 1, 代表这两张脸属于同一个人的概率越高, 具体代码如图 5 所示。

```
def compute_sim(self, feat1, feat2):
    from numpy.linalg import norm
    feat1 = feat1.ravel()
    feat2 = feat2.ravel()
    sim = np.dot(feat1, feat2) / (norm(feat1) * norm(feat2))
    return sim

def get_feat(self, imgs):
    if not isinstance(imgs, list):
        imgs = [imgs]
    input_size = self.input_size

    blob = cv2.dnn.blobFromImages(imgs, 1.0 / self.input_std, input_size,
                                  (self.input_mean, self.input_mean, self.input_mean), swapRB=True)
    net_out = self.session.run(self.output_names, {self.input_name: blob})[0]
    return net_out

def forward(self, batch_data):
    blob = (batch_data - self.input_mean) / self.input_std
    net_out = self.session.run(self.output_names, {self.input_name: blob})[0]
    return net_out
```

图5 ArcFace中人脸对比具体代码

3.4 人脸识别算法程序方法

人脸识别流程大致分为: 图像采集、图像预处理、人脸检测、特征提取、人脸识别。

图像采集: 该步骤是人脸识别流程的关键, 不同环境、背景、角度下的图像对模型的识别率有较大的影响。

图像预处理: 对采集后的原始图像进行预处理, 方便后期进行模型的训练操作。在该算法中, 预处理操作大致分为: 人脸对齐和图像裁剪。人脸对齐利用规定的五点将不同角度的人脸回正。而图像裁剪则是将原始图像裁剪成 112 成 112 分辨率, 是图像的全部信息集中在脸部。

人脸检测: 该步骤是后续特征提取与识别工作的基础。其主要任务是从背景复杂、尺寸不一的原始图像中, 准确搜索并定位人脸所在的位置与大小, 最终输出人脸的边界框 (Bounding Box)。在现代深度学习框架中 (如 MTCNN 或 RetinaFace), 人脸检测往往与关键点定位

(即提取眼、鼻、嘴周边的关键特征点) 联合进行, 从而为前述的“图像预处理”提供进行仿射变换与人脸回正所需的坐标信息。

特征提取: 人脸识别模型最核心的环节。将预处理后 (裁剪为 112 × 112 分辨率) 的标准人脸图像输入到深度卷积神经网络 (如改进的 ResNet 主干网络) 中, 网络会通过多层卷积与池化操作, 逐层提取从边缘、纹理等浅层视觉特征到抽象的深层语义特征。最终, 模型将输入的人脸图像映射为一个具有高度身份判别力的低维密集向量 (512 维的特征向量), 该向量可被视为该人脸在数学高维空间中的“数字身份证”。

人脸识别: 是整个流程的最后决策阶段, 本质上是特征向量之间的相似度比对。系统会将上一步提取到的目标人脸特征向量, 与数据库中已注册的人脸特征向量进行数学计算 (余弦相似度比对)。当计算得出的相似度得分超过系统预设的阈值时 (目前阈值设置 0.6), 即判定为同一身份, 从而完成 1:1 的身份验证或 1:N 的身份检索。

4 硬件系统设计

4.1 硬件结构分工

4.1.1 底层主控与感知模块 (STM32 端)

STM32 作为系统的底层核心控制器, 主要负责传感器的数据采集与执行机构的硬件驱动。系统上电后, STM32 会实时轮询人体红外或距离传感器的状态电平。当感知到驾驶员进入有效探测区域或落座后, 单片机会立即向树莓派发送视觉唤醒指令, 随后进入监听状态, 等待上层计算平台的身份验证反馈。

4.1.2 高算力视觉与决策模块 (树莓派端)

树莓派专注于处理高负载的人脸识别任务。在接收到 STM32 的触发信号后, 树莓派通过驱动摄像头开启图像流采集。该模块在 Python 环境下深度集成了 OpenCV 开源计算机视觉库, 负责运行人脸检测与特征比对算法。

4.1.3 数据交互与动态存储机制

树莓派在完成人脸特征提取后, 会与本地特征数据库进行检索比对: 身份已注册: 若匹配成功, 系统直接下发该驾驶员绑定的历史座椅坐标数据, STM32 接收后驱动电机完成座椅的自适应调节。身份未注册: 若为陌生驾驶员, 系统将在存储空间内为其分配并建立全新的用户配置文件。自适应更新: 调节完成后, 系统会持续监测座椅位置参数。若检测到驾驶员通过物理按键进行了手动微调 (即存在人为干预), 系统将触发覆盖写入机制, 自动更新并保存该用户最新的座椅舒适度坐标, 实现记忆数据的动态迭代。

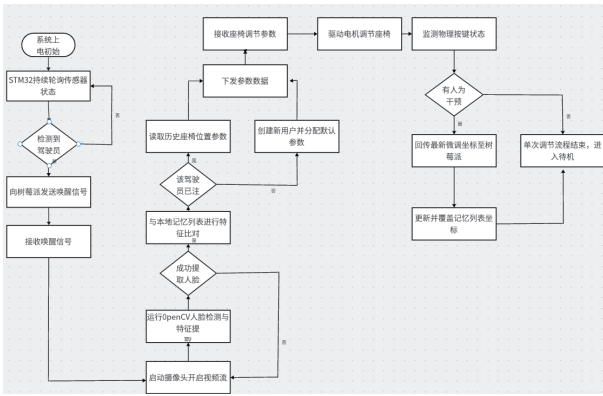


图6 电控程序流程图

5 实验验证与分析

5.1 实验过程

选取不同时间段、光照的背景环境下，进行多人的注册与识别，该操作是为了检测过程中是否出现误识别情况（将不同人识别成同一人）。并且尽量模拟各种驾驶员会出现的状态，如佩戴墨镜、戴口罩、帽子等遮挡情况出现。

5.2 实验结果分析

为了验证本智能座椅调节系统的实际运行效能与环境鲁棒性，本研究开展了 100 组综合场景测试。测试数据表明，系统成功完成身份验证并触发座椅自适应调节的次数为 92 次，整体综合识别准确率达到 92%，如图 7 和图 8 所示。



图7 未注册人脸

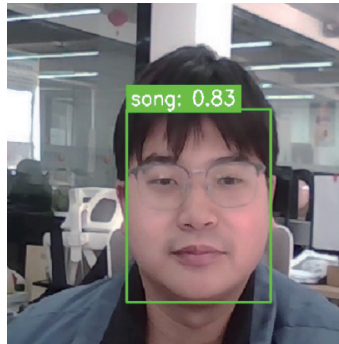


图8 已注册人脸

在未能成功匹配的 8 组测试案例中，故障成因主要高度集中在多重负面视觉条件的叠加。具体分布为：环境照度极暗且测试者佩戴口罩（3 次）、暗光环境下刘海严重遮挡面部关键特征（2 次），以及面部同时被头发和口罩大面积覆盖（3 次）。

深度的数据溯源表明，单一的不良光照或轻度遮挡通常不会导致系统失效。值得一提的是，在系统早期的联调阶段，多摄像头的并发采集曾引发视频流数据拥堵与图像乱码问题。为此，本系统最终确立了基于单路摄像头的采集方案。该设计在彻底根除图像乱码、保证输入源极高稳

定性的同时，在常规光线和适度遮挡下均表现出极佳的识别率。然而，“极弱光 + 大面积遮挡”的复合干扰会大幅削弱图像的灰度分布质量，导致系统无法提取到有效的面部高维特征。在这些失败案例中，当测试者主动移除面部遮挡物或适当增加车内照明后，系统均能重新捕获特征并顺利通过验证，但这客观上使得算法的迭代比对时间增加，导致单次识别的总耗时有所延长。

综合上述异常工况的成因，考虑到在真实的日常驾驶场景中，驾驶员的面部极少会处于被完全遮盖的极端不可见状态。因此，本研究在算法与硬件架构的设计上，并未盲目堆砌高算力消耗的复杂容错网络。这种基于实际应用概率的工程取舍，在确保了车载环境日常高可用性的同时，严格控制了边缘计算控制模块（树莓派与 STM32）的整体制造成本。

在系统响应时延的专项统计中，无论单次身份比对最终成功与否，系统从底层传感器唤醒、单摄图像采集、特征提取到输出比对结果的全链路耗时，均被稳定约束在 1.5 秒阈值以内。尽管相较于部分造价高昂的商用级瞬时解锁模块（约 400 毫秒）存在一定差距，但考虑到汽车座椅调节本身属于非高频、非瞬时的后台交互动作，1.5 秒的无感等待时间完全符合车载人机工程学的体验要求，且在此期间驾驶员的正常入座动作并不会受到干扰。

6 结语

本文致力于解决传统汽车座椅调节高度依赖手动物理按键、缺乏主动个性化交互体验的行业痛点，设计并完整实现了一套基于机器视觉的车载智能座椅自适应调节系统。通过系统的软硬件协同开发与综合场景测试，本研究主要取得了以下几项成果：

在硬件选型与系统拓扑上，构建了 STM32 嵌入式底层控制与树莓派高算力视觉分析的协同架构。针对联调阶段发现的多路视频流并发易导致数据拥堵与图像乱码的工程隐患，系统果断优化为单路摄像头定点采集方案，在大幅提升视频流稳定性的同时，有效降低了整套电控模块的硬件算力开销。

从人体红外唤醒、单摄人脸图像抓取、高维特征提取到本地记忆库匹配的全流程。系统不仅能对已注册驾驶员实现秒级（<1.5s）的无感身份核验与座椅自动复原，“人工微调即覆写”的动态更新逻辑，极大提升了人机交互的顺滑度。

通过 100 组综合对照实验验证，系统在常规车载环境下的综合识别率达 92%。在保证日常工况极高可用性的前

前提下,本研究秉持实用的工程原则,未过度堆砌应对极低概率极端工况(如彻底遮挡)的高冗余算法,成功控制了整体研发与物料成本,为智能座舱的低成本量产改造提供了切实可行的参考方案。

参考文献:

[1] 呼世健. 面向立体车库的车牌与人脸识别方法研究与应用[D]. 济南大学, 2024.DOI:10.27166/d.cnki.gsdcc.2024.000886.

[2] 余作晰. 基于人脸识别的汽车进入系统研究[D]. 福建理工大学, 2024.DOI:10.27865/d.cnki.gfgxy.2024.000354.

[3] 马世顺. 民用人脸识别安全风险防控研究[D]. 中国人民公安大学, 2023.DOI:10.27634/d.cnki.gzrgu.2023.000016.

[4] 李溪. 基于 Gabor 特征的局部遮挡人脸识别研究[D]. 中北大学, 2023.DOI:10.27470/d.cnki.ghbgc.2023.000981.

[5] P. A ,P. D ,S.R. B , et al. Face recognition based vehicle starter using machine learning[J]. Measurement: Sensors,2022,24DOI:10.1016/J.MEASEN.2022.100575.

[6] 李怀宇.基于人脸识别的智能立体车库系统关键技术研发[D]. 东南大学, 2022.DOI:10.27014/d.cnki.gdnau.2022.002521.

[7] 王志皓. 基于卷积神经网络的车载人脸识别解锁算法的研究[D]. 华南理工大学, 2022.DOI:10.27151/d.cnki.ghnl.2022.002172.

[8] 刘佳卉. 人脸识别技术在公交系统中的应用与思考[J]. 城市公共交通, 2021,(06):38-41.

[9] 王芳佳. 基于机器视觉的汽车驾驶疲劳识别方法研究[D]. 重庆大学, 2021.DOI:10.27670/d.cnki.gcqdu.2021.003836.

[10] H Z S ,Ithnin N ,Wahab A H N , et al. Intelligent Locking System using Deep Learning for Autonomous Vehicle in Internet of Things[J].International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA),2021,12(10):D

OI:10.14569/IJACSA.2021.0121063.

[11] 何承鹏.基于红外人脸识别的汽车防盗系统[D]. 长春工业大学, 2020.DOI:10.27805/d.cnki.gccgy.2020.000010.

[12] Vehicle Starter using Face Recognition[J]. International Journal of Engineering and Advanced Technology,2020,9(5):711-713.DOI:10.35940/ijeat.e9621.069520.

[13] 李杰, 张森, 张慧辰等. 基于人脸识别的大底库高可信失驾人员查处方法研究[J]. 中国公共安全(学术版), 2020,(01):82-84.

[14] 詹雅玮. 基于智能座舱的发动机防盗控制系统的研制[D]. 重庆大学, 2021.DOI:10.27670/d.cnki.gcqdu.2021.001584.

[15] Yasir M Z ,Zia M,Akbar A S, et al. Exhaustive security system based on face recognition incorporated with number plate identification using optical character recognition[J]. Mehran University Research Journal Of Engineering & Technology,2020,39(1):145-152.DOI:10.22581/muet1982.2001.14.

[16] 赵泽通. 基于深度学习的车型及驾驶员人脸识别研究[D]. 河北工业大学, 2019.DOI:10.27105/d.cnki.ghbgu.2019.000512.

[17] Zhejiang Geely Automobile Research Institute Co. Ltd.; Researchers Submit Patent Application, "Vehicle Control System Based On Face Recognition", for Approval (USPTO 20180312168)[J].Journal of Engineering,2018,1331.

[18] 王琦. 基于人脸识别的疲劳监测系统的研究[D]. 新乡医学院, 2018.

[19] 幸坚炬. 基于卷积神经网络的人脸识别在疲劳驾驶检测中的应用[D]. 广东技术师范学院, 2017.

[20] 王筱薇倩. 面部识别技术及其在汽车行驶中的应用研究[D]. 安徽工程大学, 2013.