

## 基于目标人脸跟踪平台的视觉实验研究\*

彭智勇<sup>1</sup> 黄扬翔<sup>1</sup> 梁红珍<sup>通讯作者, 2</sup>

(1. 桂林电子科技大学 光电工程学院 广西桂林 541004;

2. 桂林生命与健康职业技术学院 广西桂林 541001)

**摘要:** 为适应时代的发展,融合深度学习、GPU加速等最新知识要点,扩展计算机视觉的实验课程内容,本文设计了基于目标人脸跟踪的实验平台。文章内容包括人脸检测、识别、跟踪、反馈控制基本原理介绍,平台实现方法介绍及计算机视觉实验的延伸设计。实验设计包括针对人脸部分遮挡、噪声污染影像的人脸检测、识别及反馈跟踪测试,本文测试的跟踪速度达到24FPS。本实验的设计能引导学生将独立的知识点连接成整体,培养学生对复杂工程问题的探索、创新能力。

**关键词:** 计算机视觉 人脸检测 人脸识别 目标跟踪 实验平台

**中图分类号:** G482 **文献标识码:** A

**DOI:** 10.12218/j.issn.2095-4743.2022.23.142

### 一、实验设计依据

计算机视觉是一门课程内容与时俱进的重要计算机专业课程<sup>[1]</sup>。人脸识别跟踪广泛应用于目标人物跟踪、自动驾驶技术,无人机搜索救援,人脸跟踪拍照等很多的新兴技术中,是计算机视觉领域的经典课题。本课题综合深度学习、图像处理、模式识别、GPU加速、自动控制、机械装置设计等技术,设计了人脸识别智能跟踪综合实验平台,平台可根据人脸识别定位结果控制机械系统,完成对目标人脸的跟踪和鉴定。通过实验平台的设计可以加深学生对知识的理解、培养学生对复杂工程问题的探索、创新能力。

人脸识别跟踪实验平台在技术上包含有人脸检测、识别、目标跟踪的上位机系统和控制功能的单片机系统与机械传动装置。其中人脸检测是查找图像中人脸的位置;人脸识别是将待匹配的人脸图像与存储的人脸图像进行对比,判断是否为同一个人;目标跟踪则通过跟踪器对检测到的人脸所在区域进行快速跟踪,提升运行效率<sup>[2]</sup>;单片机控制系统则通过控制算法实现过转角电机的控制,从而调整相机角度,使目标人脸始终处理图像中心;机械传动装置则是由步进电机构成的执行机构。

### 二、目标人脸跟踪的基本原理

平台程序基于TensorFlow<sup>[3]</sup>实现。算法通过多任务级联卷积神经网络(MTCNN)检测人脸;基于通用人脸识别网络FaceNet求解人面部图像在欧氏空间的距离识别人脸;识别

好的目标人脸作为跟踪目标,利用跟踪器<sup>[4]</sup>进行跟踪,每完成一次检测识别,更新一次跟踪目标,可防止跟踪目标的丢失;程序分为多个线程运行,对人脸检测、识别的同时,跟踪人脸所在区域,既保持流畅的采集显示,又可以对手脸位置逐帧更新。平台算法框图如图1所示。

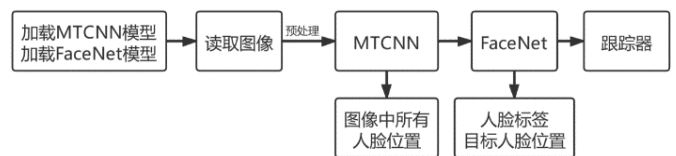


图1 平台算法框图

人脸检测采用MTCNN算法实现,MTCNN由P-Net、R-Net和O-Net三个网络级联构成。P-Net先获取回归向量以及人面部候选窗,通过回归的结果调整候选窗,并将有较高重叠度的候选窗通过NMS(非极大值抑制)合并。R-Net筛选候选窗的方法类似P-Net,不同的是比P-Net多了一个全连接层,以更好地抑制冗余窗。O-Net比R-Net层又多一层卷积,因此处理的结果会更加准确,作用和R-Net一样,该层对人的面部所在区域有更多的监督,同时输出5个关键点坐标。

人脸识别通过通用FaceNet算法实现。FaceNet网络使用的是谷歌研发的深度网络结构GoogLeNet。FaceNet学习的是如何将图像映射到欧氏空间,图片在欧式空间上特征的距离越小,则越相似。输入为由MTCNN检测出并尺度归一后的人脸图图像,图像经过GoogLeNet深入学习架构并进行特征

\*基金项目:广西自然科学基金(2020GXNSFAA159091);广西研究生教育创新计划项目(JGY2022131);广西自治区大学生创新创业训练计划项目(202010595229)。

归一化后得到128维特征矢量，接着通过Triplet Loss三元损失函数学习特征间的可分性，最后通过阈值实现人脸识别。

### 三、目标人脸跟踪平台结构

平台硬件结构以PC为上位机，实现对人脸的检测、识别和目标跟踪算法；USB摄像头采集视频图像，然后将目标人脸的方位发送给单片机，单片机根据目标的方位控制舵机运动实现跟踪，跟踪结果通过HDMI接口在显示器上实时显示，系统硬件框图如图2所示。

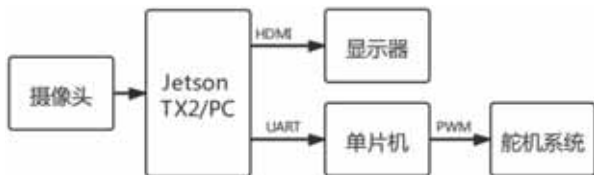


图2 平台硬件框图

#### 1. 单片机系统板

单片机采用STM系列的stm32f103c8t6，它是基于Cortex-M3内核的32位控制器，可在2V~3.6V下工作，主频72MHZ，64KB Flash，16KB RAM。该单片机共有37个GPIO口，包括4个四通道定时器，10路12位模数转换器，3路同/异步串口，接口丰富，便于功能扩展。系统板还引出有I2C通信的OLED接口、串口1、普通PWM输出接口、推挽PWM输出接口和SWD程序下载接口，可方便的满足实验平台需求。

#### 2. 上位机系统软件设计

上位机软件采用Python3.5编写，主要功能为图形化交互界面、摄像头图像采集处理、基于TensorFlow的人脸检测识别、串口通信和读取系统信息。程序先加载Python依赖包，载入已保存的人脸图像并初始化参数，载入MTCNN模型和FaceNet模型。然后程序进入PyQt5窗口界面主线程，在主线程中创建并开四个子线程，分别为图像采集处理子线程，系统参数获取更新及串口通信子线程，人脸检测及人脸欧氏距离计算子线程，人脸比对、目标跟踪及绘制人脸框子线程。所有子线程中的程序都循环执行，并相互传递参数。当主线程中断退出时，关闭主线程，所有子线程退出循环，并关闭串口通信和摄像头视频流，程序结束运行，上位机软件的流程图。

#### 3. 基于TensorFlow的GPU并行运算

本文采用CPU+GPU的异构计算实现，即CPU负责处理复杂的逻辑运算，人脸检测及人脸识别的卷积神经网络部分调用GPU并行运算。TensorFlow的GPU并行运算需要CUDA和cuDNN的支持，CUDA是英伟达开发的用于GPU编程的模型，它提供有用于GPU编写程序的接口；cuDNN是让神经网络使

用GPU加速的库，它们的安装版本必须相互匹配才可以使用。

#### 4. 多线程编程

由于人脸检测识别涉及大量的矩阵运算，耗时较长，而对视频的处理要求有较高的实时性，传统单线程运行方式已无法满足要求，因此本设计采用多线程编程。Python自带有threading模块可以很方便地实现多线程，但因为使用了PyQt5设计图形界面，PyQt5图形界面占了一个线程，若使用其他多线程模块分配新的线程，则难以和图形界面线程共享数据，所以使用PyQt5提供的多线程服务。

五个线程中，GUI界面占用主线程，负责界面各个控件的刷新；图像采集子线程负责初始化摄像头和采集摄像头图像，图像裁剪和整形；更新参数子线程用于获取设备信息，并通过串口发送目标位置；人脸检测和欧式距离计算子线程是耗时最长的线程，包括MTCNN人脸检测、FaceNet图片映射为 $1 \times 128$ 维向量和计算图片欧氏距离，检测到的人脸越多，耗时越长，该部分作为子线程，大约每0.3秒输出一次检测识别的结果；人脸比对和目标跟踪子线程用于匹配人脸，对图片中的人脸进行跟踪、加框和打标签<sup>[5]</sup>。

### 四、实验设计

所需实验仪器包括：计算机（包括GPU显卡）、摄像头、目标人脸跟踪平台。推荐计算配置为：CPU为i7-6500U，内存8Gb，GPU为940MX，2Gb显存，集成有384个CUDA核心，算力5.0。

所需软件：

TensorFlow-GPU 1.9、CUDA 9.0、cuDNN7.0、OpenCV

#### 1. 图像采集显示实验

图像采集显示实验内容，平台通过调用OpenCV函数cv2.VideoCapture()启动采集图像和视频，可获得USB摄像头的摄像头编号，编号从0开始，有多个摄像头则编号依次增加；读取视频文件时参数就是视频文件的路径。本文为提高系统的实时性，摄像头采集函数独立分配为一个线程。此实验可以要求学生编写程序实现摄像头图像采集。

#### 2. 人脸检测实验

人脸检测实验主要是采用MTCNN人脸检测模型实践多种情况人脸影像的检测。

##### (1) 遮挡对人脸检测的影响

人脸检测在实际应用中经常会出现人脸部分遮挡的情况。遮挡的位置和面积都会影响检测结果，从而可以让学生分上、下、左、右四个方向并按不同遮挡比例，添加遮挡物来测试人脸检测结果。例如标准测试集影像从上、下两个方

向进行遮挡的测试结果人脸上方遮挡时,遮挡面积占人脸区域的25%~33%时,MTCNN算法仍能检测出人脸位置。从人脸下方进行遮挡时,遮挡面积占人脸区域的20%~31%时,也可以被检测到。左右方向的遮挡也可以做相应的测试,同时可以引导学生思考,遮挡比例与人脸检测率的关系,样可心提高遮挡人脸的检测率。

#### (2) 噪声图像对人脸检测的影响

实验可通过给图像添加不同比例的椒盐、高斯等噪声来对比测试噪声对检测结果的影响。例:测试分辨率为 $500 \times 500$ 不同密度加椒盐噪声的测试,添加密度为80%的椒盐噪声仍然可以检测出人脸,可以看出MTCNN算法的抗噪性能较强。也可引导学生思考当图像分辨率下降时,噪声密度对人脸检测结果的影响是否有变化。

### 3. 人脸注册、识别实验

人脸注册识别实验主要是采用FaceNet人脸识别模型实践多种情况人脸识别结果。

#### (1) 遮挡对人脸识别的影响

人面部遮挡不仅影响人脸检测的结果,对人脸识别也有很大的影响。此实验将MTCNN网络检测的有遮挡人脸检测结果输入FaceNet网络,测试遮挡对人脸识别的影响。分别用上、下、左、右方向的遮挡人脸进行测试,例本文中对比测试从上方和下方遮挡类间人脸与类内人脸图像欧氏距离之比的变化。从结果可以看到,在可以被MTCNN检测出人脸的前提下,类内人脸的欧氏距离始终小于和类间的欧氏距离,但是随着人脸遮挡面积的增加,差距越来越小。从上方进行遮挡时,遮挡比例超过人脸高度20%时差距明显缩小,而从下方进行遮挡时,遮挡比例达到25%以上时差距变得较小。

#### (2) 噪声对人脸识别的影响

图像噪声也会对面脸识别造成大量干扰。本实验可通过MTCNN检测出来的包含有不同噪声的人脸图片作为测试数据,和无噪声的同一人脸图片和不同人脸图片进行比对,计算类间人脸与类内人脸图像欧氏距离之比的变化,例本文测试得的椒盐图像部分测试数据。从结果可以看出,椒盐噪声不超过40%的情况下,FaceNet识别的结果都很好,可以很容易区分出类间人脸和类内人脸。随着噪声密度的增加,被测人脸与类间和类内图片的欧氏距离都明显增加,且差距减小的越来越快。

### 4. 人脸跟踪实验

人脸跟踪实验通过启用OpenCV跟踪器实现对识别的目

标人脸在视频相邻帧间的跟踪,同时通过单片机控制板反馈控制调整摄像头角度。OpenCV提供有八种目标跟踪器<sup>[1]</sup>,分别为Boosting Tracker、MIL Tracker、KCF Tracker、CSRT Tracker、MedianFlow Tracker、TLD Tracker、MOSSE Tracker和GOTURN Tracker。考虑到跟踪速度,最终选用MedianFlow Tracker或者MOSSE Tracker作为目标跟踪器。系统每完成一次检测识别就会更新跟踪目标,可防止出现目标跟丢的情况。

目标人脸跟踪平台总体跟踪测试时,目标人脸处于不同的方位时,摄像头会随着人脸位置变化调整角度,使得人脸处于图像的中心附近。测试发现目标人脸跟踪速度达到24FPS,CPU温度为85度。GPU占用率约为72%,内存占用2Gb。舵机的控制速度和检测识别的结果有关,若无法检测到目标,舵机恢复为初始角度。

### 结语

本文所述基于目标人脸跟踪平台的计算机视觉实验项目,通过将深度学习等最新技术结合到计算机视觉实验中,实现了包含图像采集显示、人脸检测、人脸识别、人脸跟踪控制等实验内容的综合实验平台。与普通计算机视觉实验相比,传统实验往往是针对相一个点的独立实验内容,学生难以将各知识串联起来在脑海中形成一个复杂整体实际应用场景;而本实验设计结合前沿技术,使学生能结合具体事例将多知识点联系起来形成整体,使学生深刻理解目标检测、目标识别、目标跟踪的技术原理,快速掌握具体的操作及处理方法,有利于激发他们的实验热情、培养学生解决复杂工种问题的探索、创新能力。

### 参考文献

- [1]黄伟,李晓玲.基于大数据和多模态智能技术的计算机视觉实验设计[J].实验技术与管理,2016,033(009):122-125.
- [2]景晨凯,宋涛,庄雷,等.基于深度卷积神经网络的人脸识别技术综述[J].计算机应用与软件,2018,35(01):223-231.
- [3]高春庚,孙建国.基于TensorFlow的手写体数字识别[J].洛阳师范学院学报,2022,41(02):39-41.
- [4]谢郭蓉,曲毅,蒋榕圻.抗遮挡目标跟踪的模型学习综述[J].计算机工程与应用,2022,58(02):43-56.
- [5]邹宏伟.基于OpenCV的数字图像处理技术研究与实践[J].无线互联科技,2019,16(22):118-119.