

汕头大学大学生创新创业训练计划项目

结题验收书

项目类别 ☐ 创新训练 ☐ 创业训练 ☐ 创业实践

项目编号 S202010560054

项目名称 基于树莓派的虹膜识别

项目负责人 尹学逯

院 系 工学院

专业/年级 18 电子信息工程

联系电话 15873997413

指导教师 范衡

项目起止时间 2020 年 7 月 - 2021 年 4 月

填表说明

一、本表前四项由项目小组集体根据项目实施情况实事求是填写，除需亲笔签名外，其余部分均需采用打印稿，不够可加页；用 A4 纸双面打印，于左侧装订成册。

二、本表第五项由指导教师核查填写。

三、本表第三项以附录方式提交内容至少含：

附录一：公开发表的论文、获授权专利、论文发表或专利申请录用通知复印件或其它支撑材料

附录二：项目组成员科研总结，包括成功、失败的经验教训

四、填写本表内容统一使用宋体，小四号字，单倍行距。

| 一、项目组成员及指导教师信息 | | | | | | |
|----------------|-----|------------|------|----------|-------------|--|
| 负责人 | 姓名 | 学号 | 所在学院 | 专业 | 联系电话 | E-mail |
| | 尹学速 | 2018631058 | 工学院 | 电子信息工程 | 15873997413 | 18xqyin@stu.edu.cn |
| 参加成员 | 方一帆 | 2018631010 | 工学院 | 电子信息工程 | 14750282221 | 18yffang@stu.edu.cn |
| | 张积标 | 2018633033 | 工学院 | 电子与计算机工程 | 13086762219 | 18jbzhang@stu.edu.cn |
| | 武勇涛 | 2018631044 | 工学院 | 电子信息工程 | 13612372207 | 18ytwu2@stu.edu.cn |
| | 刘瑞熙 | 2018611044 | 工学院 | 计算机 | 13192787293 | 18rxliu@stu.edu.cn |
| 导师 | 姓名 | 范衡 | 学院 | 工学院 | 职务/职称 | 电子系主任、教授 |

| | | | | | | |
|--|--------|-----------------|----|------|-------------|--|
| | E-mail | Zfan@stu.edu.cn | | 联系电话 | 15218977996 | |
| | 姓名 | | 学院 | | 职务/职称 | |
| | E-mail | | | 联系电话 | | |

二. 项目实施情况

| | | |
|-------------|--|--|
| 1. 项目任务完成情况 | <p>项目申报书预期成果（按照项目申报书内容填写）</p> <p>实现对所采集虹膜图像信息进行降噪、提取主要信息；搭建人工智能深度学习卷积神经网络算法架构并实现调用</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 收集虹膜识别技术的相关资料，了解虹膜识别的技术背景和发展等背景资料，评估项目的可行性以及创新点，针对项目问题做出改进。学习开发相关知识如opencv、树莓派、图像获取与人工智能训练算法等。 2. 根据虹膜识别的技术难题分模块进行攻克，针对项目技术问题制定项目计划与流程并根据实际情况进行优化。 3. 将模块化开发部分进行整合与调试，根据调试中发现的实际技术问题进行攻克并基于已有的技术基础上对虹膜识别技术进行创新（探究虹膜识别的成本降低的可行性等技术生产问题） 4. 根据项目成果撰写项目报告，评估实际成果是否符合对预期成果，根据成果误差进行反思总结，并分析产生误差的原因，针对未能攻克的技术难题进行存档，方便后续研究 | <p>实际获得的成果</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 虹膜图像成功采集，获得清晰的、可用于识别的虹膜特征 2. 成功搭建虹膜识别模型，实现虹膜分割 & 分类。 3. 成功实现人眼自动检测并自动采集虹膜图像传送到服务器进行虹膜识别，并将结果返回树莓派。 4. 拥有良好的预测结果： <ol style="list-style-type: none"> A. 预测已注册在虹膜库里的人员的虹膜，识别准确率达到 98%以上。 B. 开集测试（对未注册在虹膜库的陌生人进行识别），的测试准确率（归为 Unknow，拒识）达到 90%以上。 5. 成功搭建“树莓派采集 + 预测 + 树莓派显示结果”的轻量级虹膜识别系统。 |
|-------------|--|--|

2. 项目完成内容、产品/服务介绍、关键技术及效果

（包括项目创新性或独创之处、项目实际应用价值或现实指导意义、项目的社会效益和经济效益等）

一、 项目完成内容：

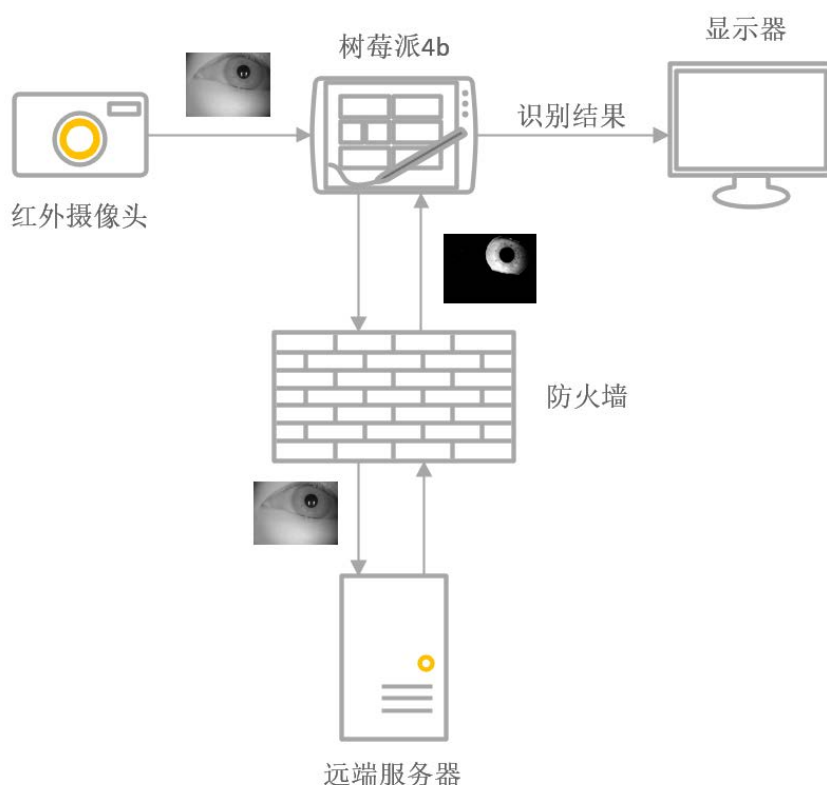
1. 虹膜采集
2. 虹膜识别模型（虹膜分割 + 虹膜分类）
3. 服务器部署
4. 模型测试（闭集测试 + 开集测试）
5. “树莓派采集 + 云端检测 + 树莓派显示结果”轻量级虹膜识别系统的搭建

二、 产品介绍

虹膜识别技术是基于眼睛瞳孔中的虹膜进行身份识别，应用与安防设备以及有高度保密需求的场所。虹膜识别相比于当前主流的人脸识别与指纹识别具有高独特性、高稳定性、高防伪性，在一些需要高度保密的场所有着重要应用。高独特性，虹膜的纹理是随机的，其形态依赖于胚胎期的发育；高稳定性，虹膜可以保持几十年不变，而且不受除光线之外的周围环境的影响；高防伪性，虹膜本身具有规律性的震颤以及随光强变化而缩放的特性，可以识别出图片等伪造的虹膜；基于以上种种优点，虹膜识别技术存在很大的应用前景，然而由于其技术难度较大、成本高、便携性差和响应慢的缺点使得虹膜识别这一技术仍得不到广泛的应用。

本项目的主旨就是基于以上所述的虹膜识别的缺点，创新设计出一款成本低、便携且响应快速的虹膜识别产品。我们的产品采用“树莓派 + 云端服务器”的形式，利用树莓派便携以及云端服务器响应快（服务器配置较高）的优点来解决虹膜识别的缺点问题。

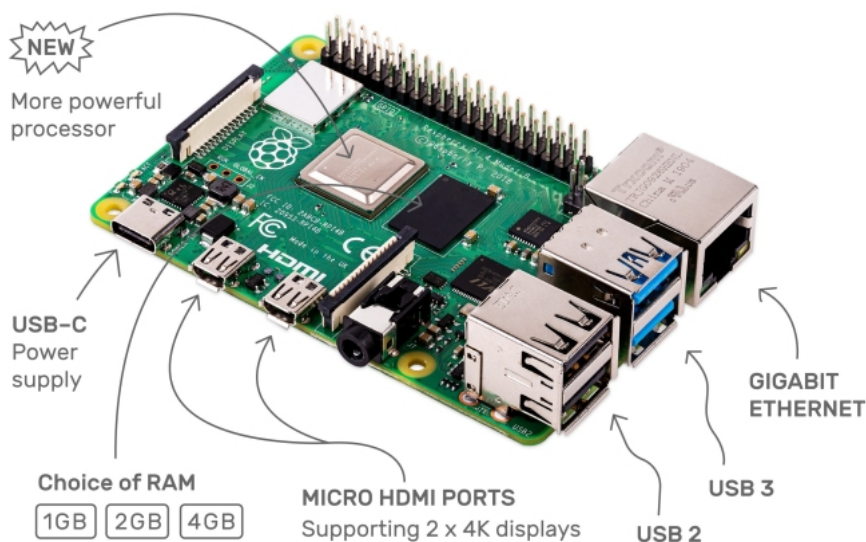
本系统整体流程如下，首先由红外摄像头采集用户虹膜图像通过树莓派传输至远端服务器，远端服务器对虹膜图像进行虹膜分割、图像处理等操作后将处理后图像传输回树莓派，树莓派启用预测程序将该图像与数据库中虹膜数据进行比对，并将识别结果显示出来，系统框图如图 1 所示：



图一 产品系统框图

1. 树莓派部分

本产品所用树莓派为最新的树莓派 4B 版本。树莓派是一款基于 ARM 的微型电脑主板，其外形只有信用卡大小，但是功能十分强大，且其**成本低**；树莓派 4B 用来做虹膜的采集设备和交互设备是十分合适的。



具体参数如下：

CPU型号： Broadcom BCM2711, 四核Cortex-A72 (ARM v8) 64位SoC @ 1.5GHz

内存： 2GB, 4GB或8GB LPDDR4-3200 SDRAM (取决于型号)

无线网卡： 2.4 GHz和5.0 GHz IEEE 802.11ac无线, 蓝牙5.0, BLE

有线网卡： 千兆以太网

USB接口： 2个USB 3.0端口；2个USB 2.0端口。

GPIO引脚： Raspberry Pi标准40针GPIO接头连接器 (与以前的板完全向后兼容)

显示器接口： 2个micro-HDMI端口 (最多支持4kp60)

DSI屏幕： 2通道MIPI DSI显示端口

CSI摄像头： 2通道MIPI CSI摄像机端口

视频输出： 4针立体声音频和复合视频端口, H.265 (4kp60解码), H.264 (1080p60解码, 1080p30编码), OpenGL ES 3.0图形

内存卡插槽： Micro-SD卡插槽, 用于加载操作系统和数据存储

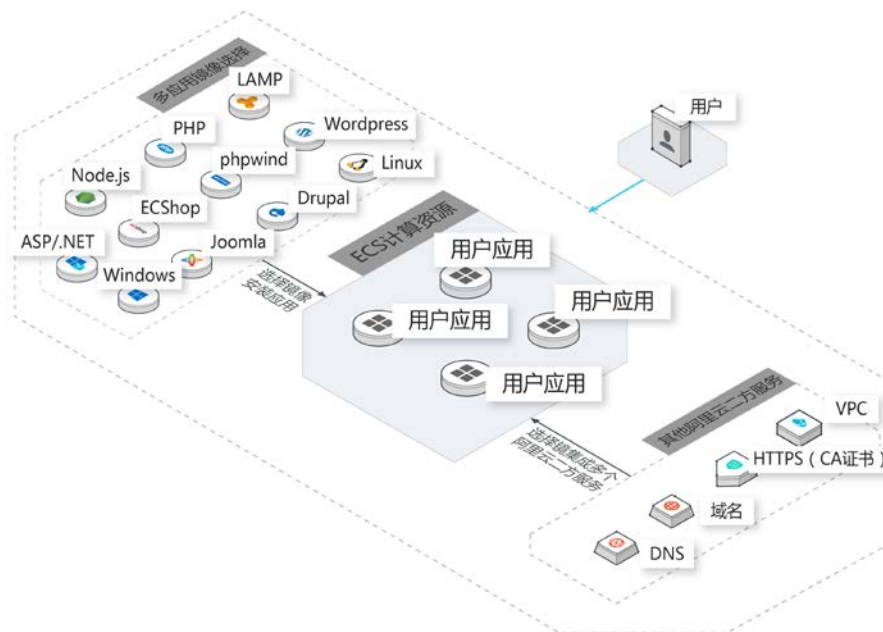
电源输入： 通过USB-C连接器5V DC (最小3A *), 通过GPIO接头提供5V DC (最小3A *)

POE供电： 启用以太网供电 (PoE) (需要单独的PoE HAT)

工作温度： 0 – 50摄氏度环境

2. 服务器部分

服务器我们选用的是阿里云的轻量应用服务器。轻量应用服务器 (Simple Application Server) 是面向单台服务器应用场景的新一代计算服务, 提供应用一键部署、一站式域名解析、网站发布、安全、运维及应用管理等服务。极大地优化了搭建简单应用的体验, 降低了入门级用户使用云计算产品的门槛。我们在服务器上部署虹膜识别模型, 利用服务器的高计算性能来加速虹膜识别的响应时间。



3. 采集部分

虹膜采集我们使用的是 200W 像素无畸变红外摄像头并利用基于树莓派实现对人眼的实时捕捉技术，逐帧采集虹膜图像，采集效果良好，虹膜特征清晰可见。

摄像头参数如下：

型号：LRCP20680_1080P（宽动态）

sensor规格：2.7 分之一（高级 COMS 感光芯片 1 / 2.7inch）

像元大小：Pixel Size 3μm x 3μm

默认速度：30 帧/秒

分辨率：1920 * 1080（30 帧） 1280 * 720（30 帧） 640 * 480（30 帧）

镜头：高清 / 红外 / 窄带：90 度、80 度、70 度、60 度、50 度等

信噪比：41 dB

硬件：工业级 200 万像素

功率：1.5W

工作电压：5V

工作电流：150mA

输出分辨率：320 * 240 / 640 * 480 / 800 * 600 / 1280 * 720 / 1920 * 1080

输出格式：MJPG / YUY2（默认是：MJPG 格式）

对焦：手动对焦

接口：USB 接口免驱动（USB2.0 支持 UVC 通信协议）

支持OTG协议：USB2.0 OTG

工作温度：-30 ~ 70℃

低照度：0.002 lux（低照度）

动态范围：96 dB（宽动态）

兼容系统：XP / WIN7 / WINS / WIN10 / Android4.0（安卓）/ Linux / MAC OS 等

三、 关键技术及效果

1. 虹膜采集

a. 人眼检测技术：

2. 虹膜识别

a. 分割模型实现特征提取：

① 分割模型介绍

传统虹膜图像预处理包括虹膜定位与虹膜分割，人眼图像主要由瞳孔、虹膜、巩膜和睫毛、眼睑、光斑等噪声组成，虹膜定位就是在人眼图像中确定位于巩膜和瞳孔之间的虹膜部分。虹膜分割则是将定位后的虹膜准确的找出来，虹膜分割是整个虹膜识别过程中最关键的一步。传统的虹膜分割算法主要利用虹膜边界的梯度变化或基于圆几何特 征的算法，这些算法对于理想虹膜图像如图 2（a）所示能够取得较好的效果，但是当虹膜图像质量不 佳或虹膜部分被遮挡时（图 2(b)）往往会对虹膜区 域进行错误的分割，并导致后续虹膜识别步骤出现错误。

随着深度学习在各个领域的发展与应用，研究人员开始将深度学习应用于虹膜分割领域，并取得了显著的效果。本虹膜识别系统使用最新提出的语义分割网络 DeepLabV3+搭建了虹膜分割模型，该模型能够有效地解决虹膜部分被遮挡以及睫毛等噪声导致分割错误的问题。

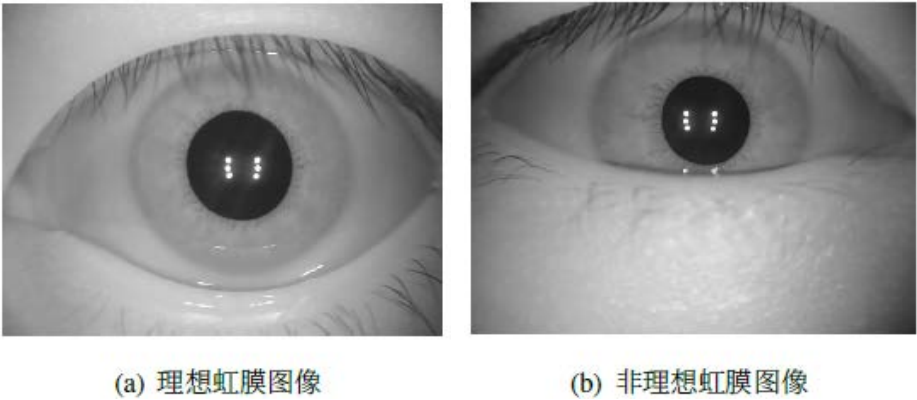


图 2 虹膜图像

② 分割模型详解：

DeeplabV3+ 网络结构如图 3 所示，由编码器和解码器两部分组成。编码器为 DeepLabV3 网络，输入图片首先在编码器中通过深度可分离卷积对输入图像进行处理得到图像深层次特征。解码器 中首先将编码器中卷积得到的低层次特征进行 1×1 卷积以降低特征通道，然后将编码器得到的深层次特征上采样 4 倍后与降通道后的低层次特征合并并进行 3×3 卷积，最后上采样 4 倍得到预测图像。

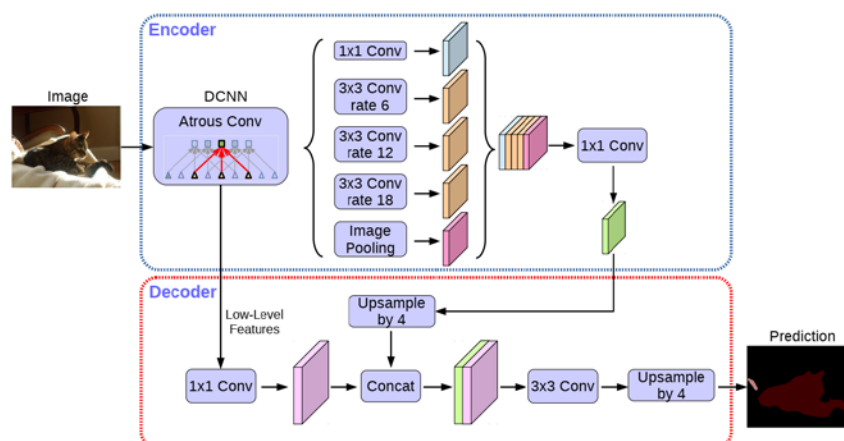


图 3 DeeplabV3+网络结构

针对虹膜识别系统的硬件部署问题，虹膜分割主干网络选用适用于移动设备部署的轻量级网络 MobileNetV2[5]。深度学习领域正在努力促使神经网络向小型化发展，在保证模型精度的同时体积更小，速度更快，因此轻量级网络应运而生，其中 MobileNet 网络拥有更小的体积，更少的计算量，更高的精度。

③ 分割数据集准备

数据集由树莓派控制虹膜摄像头分别对 10 名成人左右眼虹膜进行拍摄，每只眼拍摄 10 张，拍摄过程中使用遮光设备降低外界环境对虹膜拍摄质量的影响，同时严格把控虹膜图像质量。对拍摄的 200 张图片使用 labelme 标注工具对数据集进行标注，标注效果如图 4 所示：

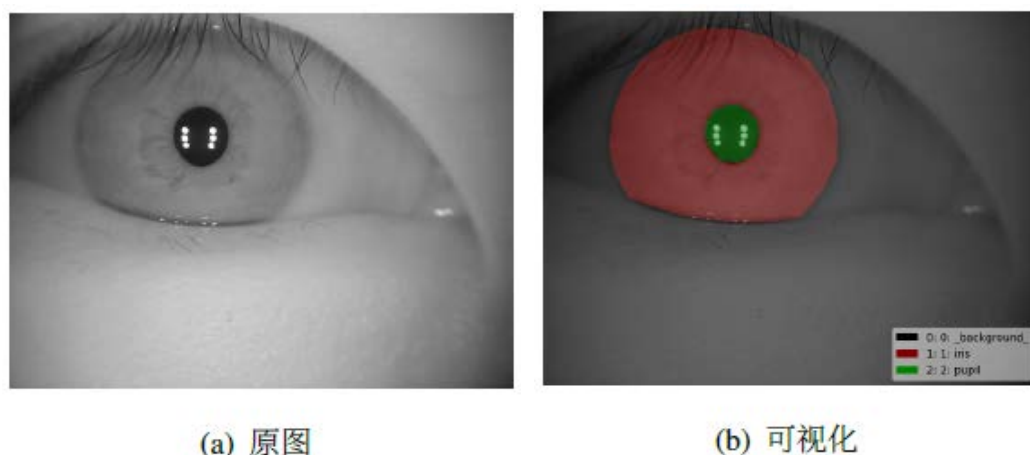


图 4 标注效果

④ 分割模型训练

数据增强：

由于我们的数据集不大，我们使用了数据增强对数据集进行了增强，包括随机水平垂直翻转和调整图像饱和度、亮度和对对比度。

模型参数：

1) 空洞卷积空间金字塔池化 (Atrous Spatial Pyramid Pooling, ASPP) 模块和解码器

- (Decoder) 模块采用可分离卷积;
- 2) 使用交叉熵损失函数, 其中增加虹膜与瞳孔权重以更好的对虹膜部分进行分割;
 - 3) 训练迭代轮数为 100 轮;
 - 4) 优化器使用动量的随机梯度下降

算法 1 动量随机梯度下降算法 [3]

输入: 学习率 ϵ , 动量参数 α

输入: 初始参数 θ , 初始速度 v

WHILE 没有达到停止准则 **DO**

从训练集中包含 m 个样本 $\{x^{(1)}, \dots, x^{(m)}\}$ 的小批量, 对应目标为 $y^{(i)}$ 。

计算梯度估计: $g \leftarrow \frac{1}{m} \nabla_{\theta} \sum_i L(f(x^{(i)}; \theta), y^{(i)})$

计算速度更新: $v \leftarrow \alpha v - \epsilon g$

应用更新: $\theta \leftarrow \theta + v$

END WHILE

- 5) 使用多项式学习率迭代策略, 初始学习率 为 0.01;
模型训练:

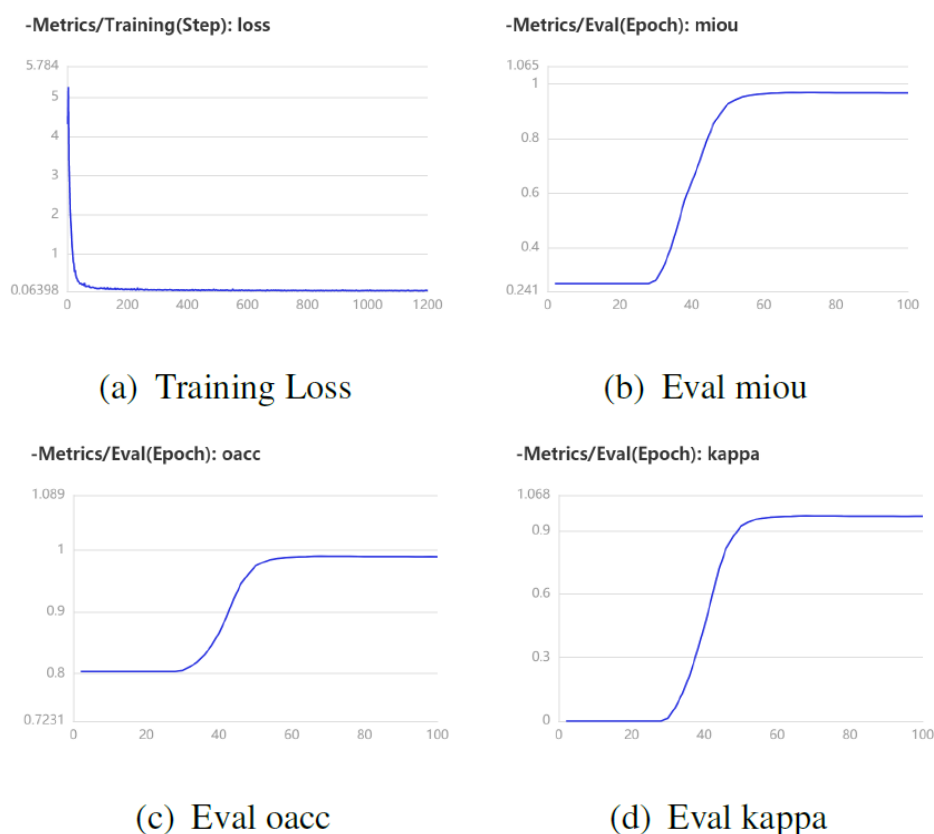


图 5 迭代过程中各项指标的更新过程

⑤ 模型分割效果评估

语义分割中通常使用许多标准来衡量算法的精度, 这些标准通常是像素精度 Pixel Accuracy (PA) 及 Intersection over Union (IoU) 的变种, IoU 为交并比, 定义为真

实值和预测值的交集与并集之比，像素精度及交并比分别可由公式（1）和公式（2）得到：

$$IoU = \frac{TP}{FP + TP + FN} \quad (1)$$

式中 TP, FP, FN 分别表示真阳性，假阳性和假阴性计数

$$PA = \frac{\sum_{i=0}^k p_{ii}}{\sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k p_{ij}} \quad (2)$$

式中 p_{ii} 表示预测正确的像素， p_{ij} 表示本属于 i 类 但被预测为类 j 的像素。均交并比 Mean Intersection over Union (MIoU) 为语义分割的标准度量，由于其简介、代表性强等特点而成为最常用的度量标准，MIoU 在每个类上计算 IoU 然后求平均，定义如公式（3）所示：

$$MIoU = \frac{1}{k+1} \sum_{i=0}^k \frac{p_{ii}}{\sum_{j=0}^k p_{ij} + \sum_{j=0}^k p_{ji} - p_{ii}} \quad (3)$$

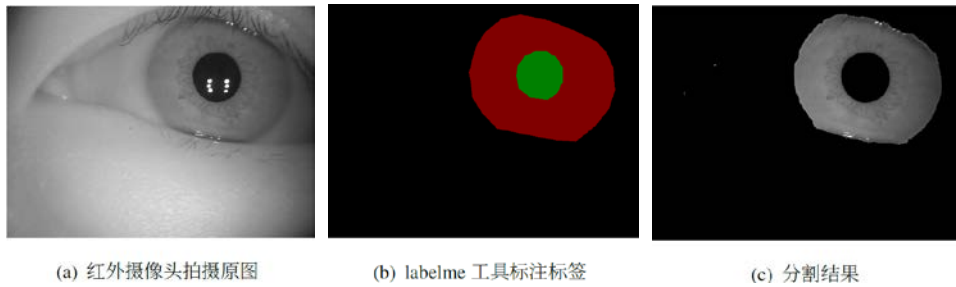
式中 p_{ji} 表示本属于 j 类但被预测为类 i 的像素。语义分割的另一重要指标为 Kappa 系数，Kappa 系数是在统计学中评估一致性的方法，通常用它来评估多分类模型准确度，取值范围为 $[-1, 1]$ ，在实际应用中一般是 $[0, 1]$ ，Kappa 系数的值越高说明分类准确度越高，在语义分割问题中则说明分割精度越高，Kappa 系数计算公式如下：

$$K = \frac{PA - p_e}{1 - p_e} \quad (4)$$

假设每一类的真实样本个数分别为 a_1, a_2, \dots, a_c ，而预测出来每一类的样本个数分别为 b_1, b_2, \dots, b_c ，总样本数为 n ，则有：

$$p_e = \frac{\sum_{i=1}^c a_i \times b_i}{n \times n} \quad (5)$$

通过以上几个指标的验证，我们的分割模型最终在验证集取得了不错的效果，其 MIoU 指标达到 0.969，Kappa 系数值达到 0.971，整体准确率达到 0.990，这些指标均能够说明我们的模型在自制数据集上有着非常高的精度。



图六 模型分割效果

⑥ 对分割后的图像进行处理

对于分割模型分割之后的虹膜图像，为了进一步去除干扰、噪声，突出虹膜图像中的有效特征，我们的系统对这些虹膜图像进行了直方图均衡化 处理 Histogram Equalization，直方图均衡化原理为将一个一直灰度概率密度分布的图像经过一种变换，使其变成一幅具有均匀灰度概率密度分布的新 图像。过暗和过亮的图像经过直方图均衡化后均能够变得更加清晰，对于红外线摄像头拍摄的虹膜图像，图像亮度较低，使用直方图均衡化能够使虹膜图像中的虹膜纹理更加清晰，这将有效提高图像在分类性能上的表现。图 6 为直方图均衡化处理前后效果对比，从效果图可以很直观的观察直方图均衡化后的虹膜图像纹理变得更加清晰。

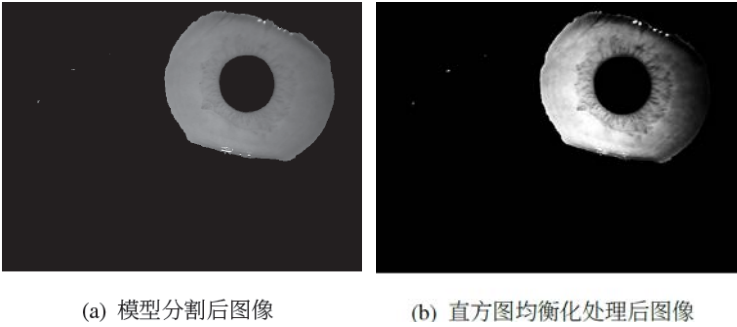


图 7 直方图均衡化前后对比

b. 虹膜分类预测：

① 数据集制作

使用红外摄像头对 8 位成年男性虹膜进行采集，左右眼各 10 张图片，将数据集分为 4 类，其中三类为录入识别库中的用户数据集，一类为陌生人数据集。数据集结构如下图所示：如图 3 所示，数据集分为两个类，一类为用户集，另一类为陌生集。其中用户集又包含 4 名注册用户，每名用户左右眼分别作为两个单独的集合；陌生集由 3 名未注册用户和其他不合格图像组成。构建陌生数据集的目的是构建一个二分类器，进一步降低模型将陌生人误 识为注册用户的比例。模型训练后采用 30 张未注册用户（6）虹膜对模型进行验证，该用户整个过程未参与模型训练。

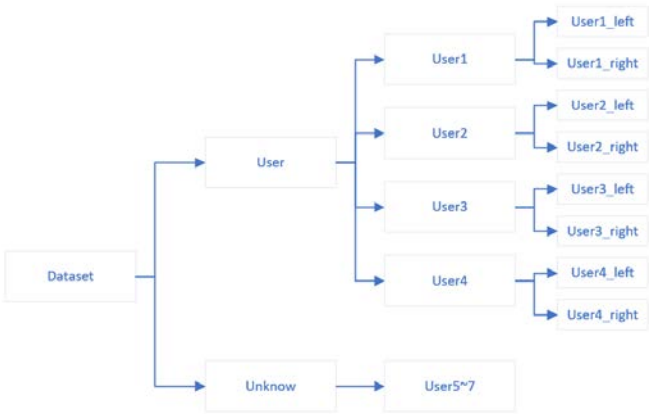


图 8 数据集结构

② 多分类方法

朴素贝叶斯 Naive Bayes 方法是基于贝叶斯理论与特征条件独立假设的分类方法，对于给定的训练数据集首先基于特征条件独立假设学习输入输出的联合概率分布 $P(X, Y)$ ，然后基于学习得到的模型对给定的输入 X ，利用贝叶斯理论计算出后验概率最大的输出 Y 。联合概率分布可由先验概率 $P(X|Y)$ 和条件概率 $P(Y = c_k)$ 计算得到：

$$P(X, Y) = P(Y)P(X|Y) \quad (6)$$

通常朴素贝叶斯方法分类是，对于给定的输入 X ，通过学习得到的模型计算后验概率分布 $P(Y = c_k|X)$ ，将后验概率最大的类作为 X 的类输出，后验概率计算根据贝叶斯定理可得：

$$P(Y = c_k|X) = \frac{P(X|Y = c_k)P(Y = c_k)}{\sum_k P(X|Y = c_k)P(Y = c_k)} \quad (7)$$

对于虹膜图像分类问题，首先将虹膜分割及图像处理后的 N 个样本展开成长度为 n 的一维向量，并手动标注每个样本的标签，则训练数据可定义为 $T = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\}$ ，其中 $x_i = (x(1)i, x(2)i, \dots, x(n)i)$ ， $x(j)i$ 表示第 i 个样本的第 j 个特征， $y_i \in \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ ， c_k 表示第 k 个类别。假设样本的特征所属于某个类别的观测值符合高斯分布，使用朴素贝叶斯-高斯模型对样本进行训练。在模型训练之前对样本数据进行归一化处理以消除奇异样本数据导致的不良影响，且归一化后的数据再训练过程中收敛更快，归一化方法公式定义如下：

$$\hat{x}_i^{(m)} = \frac{x_i^{(m)} - \max(x^{(m)})}{\max(x^{(m)}) - \min(x^{(m)})} \quad (8)$$

式中 $\hat{x}^{(m)}i$ 表示第 i 个样本中第 m 个特征归一化之后的值， $\max(x^{(m)})$ 和 $\min(x^{(m)})$ 分别表示样本的第 m 维特征的最大值和最小值。将归一化之后的样本使用主成分分析方法 Principal Component Analysis 提取样本数据中最主要的特征，从而对数据进行降维以减小模型训练及预测的计算量。

c. 模型效果

使用预处理后的数据在朴素贝叶斯-高斯模型上训练，我们的模型取得了优异的性能，其中对于未注册用户识别率达到 90%，这说明在用户安全性方面，未注册用户被识别出的把握很大。

3. 树莓派与服务器的数据交互

① 树莓派采集图像

我们利用 python 调用 opencv 模块来实现对摄像头的调用，并自动检测人眼拍照（出现蓝色方框则说明检测到人眼，如图 9 所示）

代码实现：

```
1. import cv2
```

```
2. import os
3. import time
4. import sys
5.
6. cam = cv2.VideoCapture(0)
7. cam.set(3, 640) # 窗口宽度
8. cam.set(4, 640) # 窗口高度
9.
10.
11. eyeCascade = cv2.CascadeClassifier('/home/pi/iris_recognition/Send/haarcascade_eye.xml')
12. # 每个人都以独立的 id 记录数据
13. # eye_id = input('\n 输入 ID 并按下回车 ==> ')
14. eye_id = str('test')
15.
16. print("摄像头初始化中...")
17. sys.stdout.flush()
18. # 初始化
19.
20.
21. count = 0
22. while(True):
23.     ret, img = cam.read()
24.     img = cv2.flip(img,1) # 垂直翻转图像
25.     gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
26.
27.     eyes = eyeCascade.detectMultiScale(
28.         gray,
29.         scaleFactor=1.2,
30.         minNeighbors=5,
31.         minSize=(180,180)
32.     )
33.     for (x,y,w,h) in eyes:
34.         #No save image, Camera preheating
35.         cv2.rectangle(img, (x,y), (x+w,y+h), (255,0,0), 2)
36.         count += 1
37.
38.         # 保存截取的图像
39.         if count>=15:
40.             cv2.imwrite("dataset/iris"+str(count-14)+".jpg", gray[0:640,0:640])
41.             cv2.imshow('image', img)
42.             cv2.moveWindow("image",0,0)
43.
44.         if count >= 29: # 截取 15 张人脸图像后退出
45.             break
```

```

46.
47.     #k = cv2.waitKey(100) & 0xff # 按 esc 退出摄像头界面
48.     #if k == 27:
49.         #break
50.
51. # 释放摄像头
52. print("Iris captured successfully") #when print this, java program send the image
53. sys.stdout.flush()
54. print("释放摄像头")
55. sys.stdout.flush()
56.
57. cam.release()
58. cv2.destroyAllWindows()

```

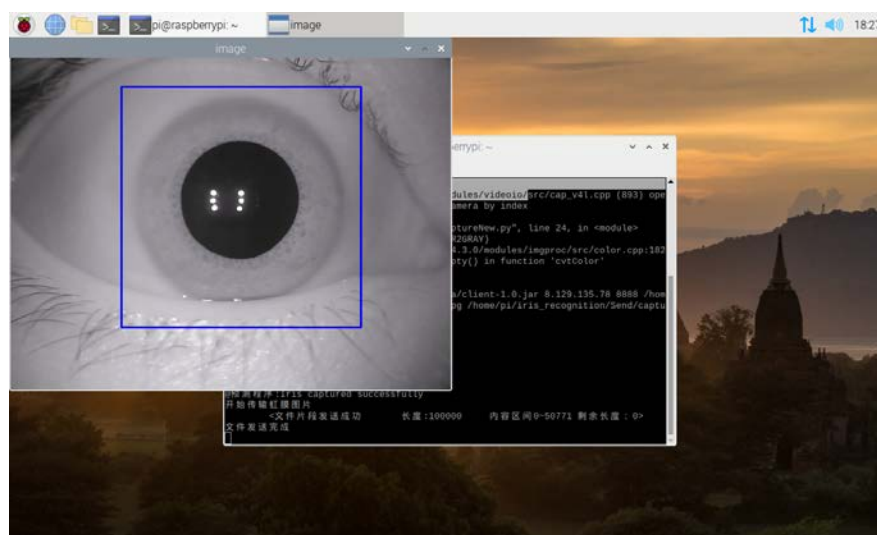


图 9 采集效果展示

② 服务器部分

a. 原理

Netty, Netty 是一个非阻塞 I/O 客户端-服务器框架, 是对 Java 原生的通信框架进行了高度的封装, 支持 TCP、HTTP、WebSocket 等协议。Netty 是一个基于 NIO 的客户、服务器端的编程框架, 使用 Netty 可以确保你快速和简单的开发出一个网络应用, 例如实现了某种协议的客户、服务端应用。Netty 相当于简化和流线化了网络应用的编程开发过程, 例如: 基于 TCP 和 UDP 的 socket 服务开发。

“快速”和“简单”并不产生维护性或性能上的问题。Netty 是一个吸收了多种协议（包括 FTP、SMTP、HTTP 等各种二进制文本协议）的实现经验, 并经过相当精心设计的项目。最终, Netty 成功的找到了一种方式, 在保证易于开发的同时还保证了其应用的性能, 稳定性和伸缩性。

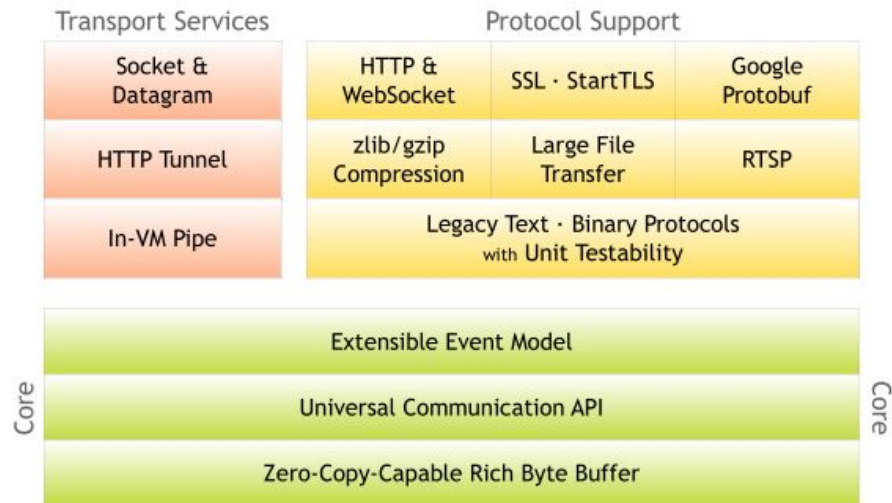


图 10 Netty 架构

架构说明:

1. 绿色的部分 Core 核心模块，包括零拷贝、API 库、可扩展的事件模型。
2. 橙色的部分 Protocol Support 协议支持，包括 Http 协议、webSocket、SSL(安全套接字协议)、谷歌 Protobuf 协议、zlib/gzip 压缩与解压缩、Large File Transfer 大文件传输等等。
3. 红色的部分 Transport Services 传输服务，包括 Socket、Datagram、Http Tunnel 等等。

b. 交互流程

① 【树莓派】

1. 连接服务器。
2. 调用虹膜捕获 Python 程序。
3. 检测虹膜捕获程序的输出，当监听到输出为 "Iris captured successfully" 时，表明虹膜数据捕获完成。
4. 开始上传虹膜数据，等待服务器返回处理后的虹膜。

② 【服务器】

1. 等待树莓派连接。
2. 连接后建立传输通道。
3. 获得虹膜数据。
4. 调用模型对虹膜进行图像处理（分割、直方图均衡），输出处理后的虹膜
5. 检测虹膜到输出，返回分割的虹膜到树莓派。
6. 等待下一次收到虹膜数据。

③ 【树莓派】

1. 收到服务器传回的处理后的图像后，启用预测程序。
2. 输出预测结果。
3. 继续监听虹膜捕获程序的输出，重复流程直至 Esc 按键被按下，按键被按下时，关闭交互通道，系统关闭。

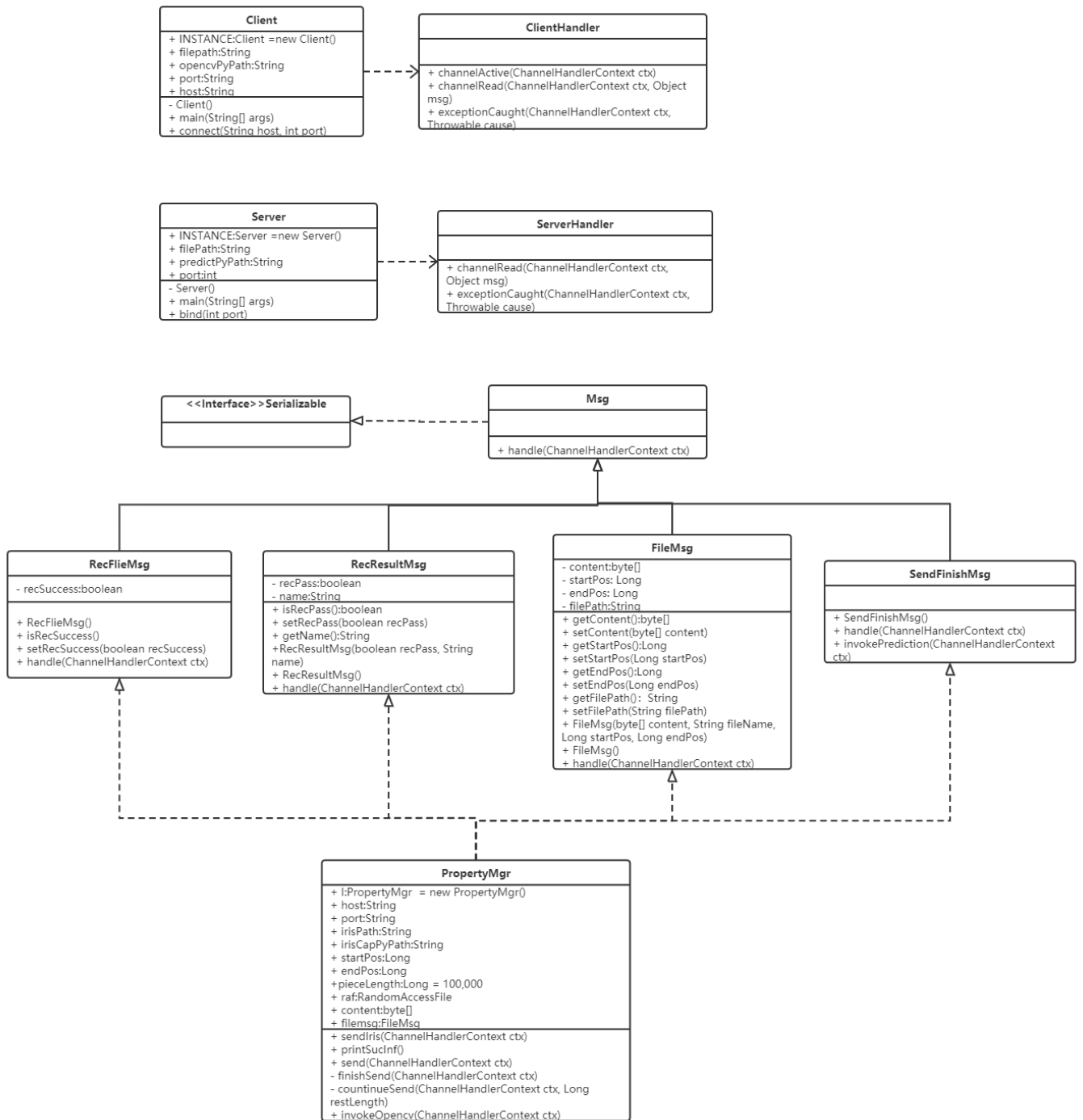


图 11 服务器流程图

4. 效果展示

a. 虹膜识别效果

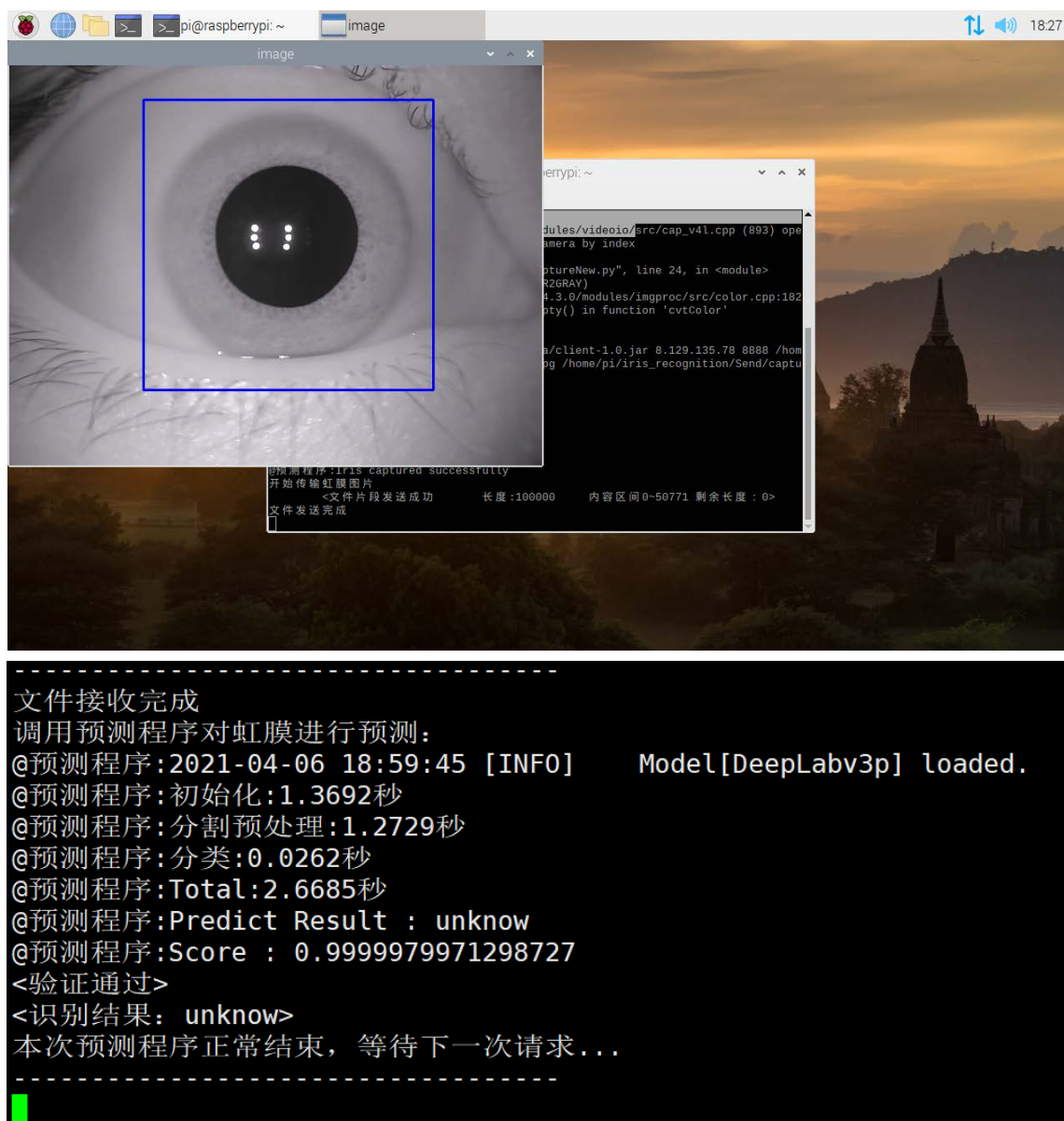


图 12 虹膜识别系统效果展示

虹膜识别模型的效果如上图所示, 在自动检测到人眼后会采集测试者的虹膜图像, 将图像上传到服务器并调用模型进行预测, 并返回测试结果到树莓派。

b. 模型指标展示

a. 识别效果评估

我们采用机器学习中常见的指标正确率、召回率和 F 值来评测模型:

- 正确率 = 正确识别的个体总数 / 识别出的个体总数

- 召回率 = 正确识别的个体总数 / 测试集中存在的个体总数
- F 值 = 正确率 * 召回率 * 2 / (正确率 + 召回率)

最终平均正确率达到 0.97

| | precision | recall | f1-score | support |
|--------|-----------|--------|----------|---------|
| fyf1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 5 |
| fyf2 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 4 |
| lrx1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 3 |
| lrx2 | 0.83 | 1.00 | 0.91 | 5 |
| unknow | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 5 |
| wyt1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 5 |
| wyt2 | 1.00 | 0.83 | 0.91 | 6 |

图 13 指标展示

b. 模型安全性评估

我们通过混淆矩阵（图 14a）来获得 Unknow 一类的 FN（假负例），来验证模型的安全性。在混淆矩阵中，我们将 Unknow 一类作为正类，User 作为负类，通过计算 FN 的个数（实际为 Unknow 但被识别成 User）占总识别次数的多少来评估模型的安全性，使用 30 张 Unknow 验证数据对模型进行测试，得到模型混淆矩阵如表 1 所示，计算得到模型误识率为 0.1。

| | | 预测 | |
|----|---|-----------|-----------|
| | | P | N |
| 实际 | P | TP | FN |
| | N | FP | TN |

(a)

| | | 预测 | |
|----|---|-----------|----------|
| | | P | N |
| 实际 | P | 27 | 3 |
| | N | 0 | 0 |

(b)

表 1 混淆矩阵

3. 项目整体进度安排及实施情况（请附《大学生创新创业训练计划项目进展报告》备查）

1. 前期准备

收集虹膜识别技术的相关资料，了解虹膜识别的技术背景和发展等背景资料，评估项目的可行性以及创新点，分析项目可能遇到的困难及解决方案。小组内成员明确分工，分别学习相关知识学习如 opencv、Linux、图像处理与人工智能训练算法等。

2. 项目初期

将项目主要分为模型搭建与虹膜采集两部分分别进行攻克，模型部分初步采用 vgg16 网络进行框架搭建，根据 DeepLab V3 搭建虹膜分割网络，并利用中科院的虹膜数据集对模型进行训练与评估；采集部分，我们购置了 200W 像素无畸变红外摄像头，设计出能在树莓派上实时捕捉并截取虹膜图像的 python 程序，并对拍摄环境进行了反复地调试。

3. 项目中期

继续对本项目的两个部分进行进一步的优化。模型部分，改为采用 MobileNet 网络进行虹膜分割，进一步提升模型的效率和预测精度；虹膜采集部分，我们利用 3D 打印技术制作出摄像头合适的镜筒，并用遮光胶布将其与摄像头绑定。随后，我们开始用摄像头进行数据集的制作，并将自制的数据集喂入优化好的模型进行测试，将结果与中科院数据集跑出来的结果进行比对，反复地更换数据集拍摄条件以达到更好的效果。

4. 项目后期

我们选用利用树莓派上编好的 Python 程序所拍出来的虹膜图像作为最终的数据集，因此确定下来整个项目的最终模型，并尝试将其部署在树莓派上，最后确立了项目展现形式是以树莓派为交互前端，阿里云服务器为模型部署后端的模式。随后优化虹膜采集程序，小组各成员轮流进行实机拍摄测试，同时对预测结果进行统计，在细节上进一步优化网络与服务器。为了更逼近真实效果，我们采集了若干志愿者的虹膜图像作为新用户（未经训练的）进行测试。另外我们还讨论了在虹膜采集程序上添加活体检测功能的可能性。

4. 资源平台利用情况

| 实验室/创业基地名称 | 地点 | 工作内容 |
|---------------|---|-------------------|
| SLC 研讨室 | 汕头大学图书馆 | 每周一次的项目研讨会 |
| 阿里云服务器平台 | https://www.aliyun.com/ | 虹膜分割/预测模型的部署 |
| BlockCAD-建模平台 | https://www.blockscad3d.com/ | 摄像头镜筒 3D 建模 |
| 百度飞桨平台 | https://www.paddlepaddle.org.cn/ | 神经网络模型搭建 |
| 中科院虹膜数据库 | http://biometrics.idealtest.org/findTotalDbByMode.do?mode=Iris | 利用中科院虹膜数据集进行模型训练 |
| Haar 人眼检测分类器 | https://github.com/opencv/opencv/tree/master/data/haarcascades | 虹膜采集程序所依赖的 xml 文件 |

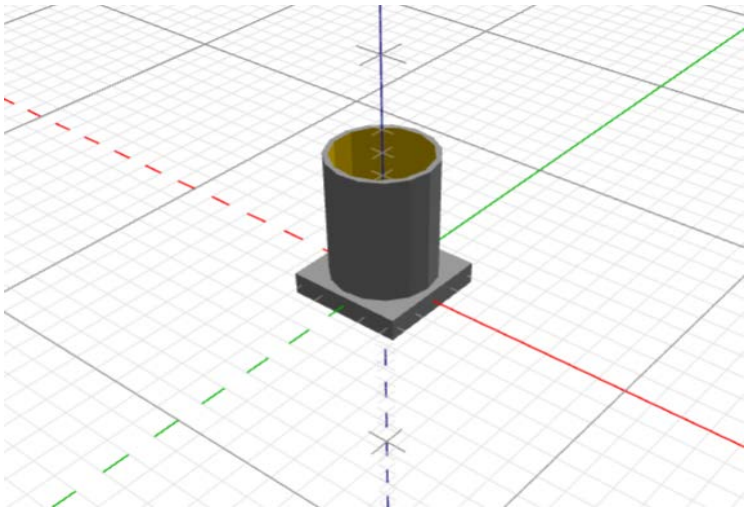
5. 项目实施过程中存在的主要问题及应对思路与措施

问题 1-摄像头的稳定性以及拍摄环境问题：

本项目虹膜采集拍摄所采用的摄像头为 200W 像素无畸变的红外摄像头，且为定焦摄像头，这就要求保证拍摄环境的无光性，且人为的抖动对拍摄质量会产生极大的影响，导致拍摄出来的图片清晰度参差不齐。

问题 1 解决方案：

我们希望能保证摄像头的固定性，每次拍摄无需手动调焦，一个合适的遮光镜筒最能解决问题。于是我们利用 BlockCAD 完成了在线的 3D 建模，使用 3D 打印机将镜筒制作出来，安装在虹膜摄像头，并用遮光胶布缠绕。安装完毕后，虹膜采集部分的图片质量有了极大地提升，且操作也更为简便。



摄像头镜筒建模



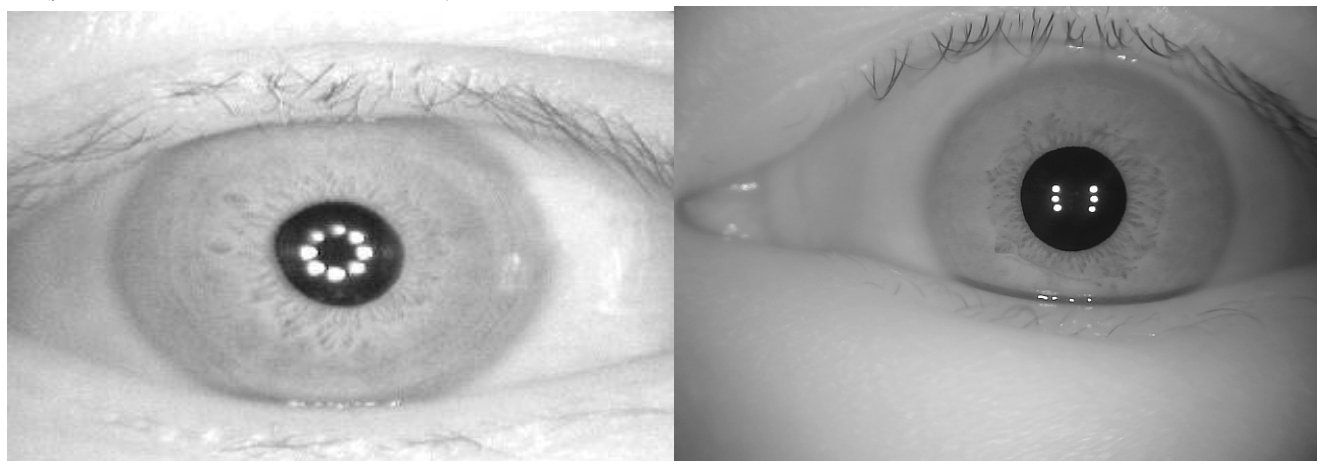
改进后的虹膜摄像头

问题 2-虹膜数据集的制作

在项目中期阶段，我们需要测试使用中科院虹膜数据集训练好的模型，用中科院的虹膜图像进行测试效果非常好，但用我们自己拍摄的虹膜图像测试的效果则不是那么的理想。因此，我们需要用自己制作的虹膜数据集对模型重新进行训练。

问题 2 解决方案

为制作虹膜数据集，我们先后尝试了多种方案：最开始用的方法是将虹膜摄像头连接在电脑上，在 PC 端进行拍摄，但拍摄效果较为模糊，模型训练表现也不佳，随后又尝试直接在拍摄界面采用截屏的方式进行采集，虽然效果有所好转但情况仍不理想，且在 PC 端上拍摄采集无法大批量化操作，这严重拖慢了我们的项目进度；于是我们将数据集制作的方案移到树莓派上进行，使用改进后的检测程序进行自动化的图像采集，该程序能自动检测定位瞳孔并进行图片截取，图片的尺寸固定为 640x480，在训练前对每张图片进行直方图均衡化处理，用该方法制作数据集的效率大大提高，而且模型训练效果也出乎意料的好。



左右图分别是中科院数据集和自制数据集

问题 3-树莓派模型部署

因本项目是基于树莓派的虹膜识别，因此要将经过自制数据集训练好的模型部署在树莓派上，但部署过程中出现了多个部分与树莓派不兼容的情况，且以树莓派的内存难以客观效率跑动如此数据量的模型。

问题 3 解决方案

经过讨论，我们决定租用阿里云平台的服务器，在不脱离以树莓派为基础的前提下，以更新颖便捷的形式去展示我们的项目。我们将模型部署在以 Netty 为基本框架的服务器上，以树莓派为可视化交互的前端，服务器云平台为模型计算后端，在树莓派上完成虹膜的采集，随后立即将虹膜图像发送至服务器进行分割和预测，并将预测结果返回至树莓派上显示出来，整套识别流程平均在 5 秒内完成，非常的简便快捷。

问题 4-陌生人（新用户）误识率高

在模型最终测试阶段，我们发现经过训练的用户预测的效果还不错，但未经过训练的新用户进行预测，模型往往无法将它们归至未知分组，而是很容易将其归往用户类，这就导致了误识率过高的问题，还会使整个项目失去安全性的重大意义。

问题 4 解决方案

另设 Unknow 类，将除本项目参与人员外的一些志愿者虹膜图像作为 Unknow 的数据集对模型进行训练，数据集中还包含非理想状态下的虹膜图像以及光线昏暗、眼睛闭合等杂图图像，这样一来，除了被明确标签为用户的对象之外，其它人进行虹膜识别的结果都是 Unknow, 且识别陌生人的准确度高达 99.9%，大大提高了产品的安全性。

6. 项目完成情况的自评意见

（包括实施过程中的成功与失败，在提高自身创新素质、实践能力等方面的收获和体会）

项目前期由于团队配合还在磨合且大家都在家中无法有效集中讨论，导致项目前期进程缓慢。同时大家对项目所涉及的领域都是刚刚接触，遇见问题难以解决，导致项目进度推进十分艰难。经过暑期的学习积累之后，大家都有了一定的理论基础对遇见的问题进行攻克，经过讨论后也将项目的整体方向确定了下来。针对本项目的具体方向大家进行了分工，将大的问题分解成小的问题。途中遇见的技术瓶颈我们也积极地查阅文献和向老师求助。

项目中后期大家都有了默契，同时每周固定时间开会讨论，也明确了项目完成会遇见的主要问题，其中有一个问题比如模型的硬件部署遇见了平台的兼容性问题，我们也及时调整了方向，最终问题也得以解决。在创新素质方面，我们学会了在日常学习中汲取灵感，并将其所学用至项目当中。

总的来说，在项目我们不仅收获了有关虹膜识别技术的知识，也在团队合作的项目运作模式中丰富了自己作为团队成员参与到团队开发的经历，最重要的是学会了遇见问题一步一步耐心去解决的心态。

三、项目成果

1. 项目创新点及项目成果价值（使用什么创新方法，手段；项目的学术价值、科学意义、应用价值）

创新点：在信息时代，身份识别困难的问题变得更加突出，而虹膜具有唯一性和防伪性，利用树莓派作为硬件支持，具有较高的测量精度和灵敏度，并且具有抗电磁干扰能力强、噪声低等优点，能够在恶劣环境条件下得到使用。将该技术引入到图像采集处理系统中，则能够利用机器代替人眼进行判断和测量，可以利用图像摄取装置完成目标检测，然后将检测得到的信号转换为数字信号，并利用图像处理系统完成信号的判断和处理。而该技术无需与被观测对象接触就能够完成被检测对象的特征的准确提取，不会对被观测者造成损伤，其安全性也比指纹识别更强。

应用价值：项目所创新设计的虹膜识别轻量系统，打破了原有虹膜识别系统在成本、便携度和响应时间上的应用壁垒，提供了一种研究思路，为虹膜识别的普及应用提供了方法。

2. 项目详细成果：包括发表论文、专利、总结报告、实物、硬件研制、APP、图纸、获奖证书等。请以附件形式提供相资料。

(1) 发表论文/知识产权情况（附复印件）：

| | | | |
|-----------|--------|-----|----|
| 论文题目/专利名称 | 作者/发明人 | 刊物及 | 备注 |
|-----------|--------|-----|----|

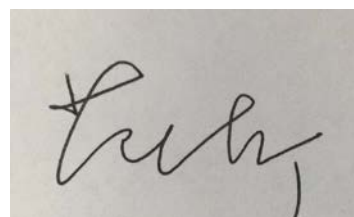
| | | | | | |
|---|----------|------------------------|----------------------------|----|---------|
| | | 期号/ 专 利 申 请 号 | | | |
| | | | | | |
| (2) *其它成果(调查报告/实验报告、实物、视频、产品、服务、图片、文字说明等): (必填) | | | | | |
| 成果形式 | 成果名称 | | 备注 | | |
| 实物 | 虹膜识别实体装置 | | 实物 | | |
| 视频 | 虹膜识别演示视频 | | 演示视频 | | |
| (3) 获奖情况/(附获奖证书): | | | | | |
| 名称 | 等级 | 时间 | 颁奖部门 | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| (4) 获得相关创业基金支持/项目收入(创业项目填写) | | | | | |
| 名称 | 金额 | 时间 | 备注 | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 四、经费使用情况 | | | | | |
| 序号 | 支出项目 | 用途 | 明细 | 数量 | 总金额(元) |
| 1 | 树莓派 4B | 项目的基础运行设备 | 4G 运行内存 | 5 | 2499 |
| 2 | 树莓派 配件 | 树莓派运行的必要外设 | 树莓派的存储卡、外壳、电源线等 | 若干 | 140. 55 |
| 3 | 红外摄像头 | 虹膜采集 | 200W 像素无畸变 | 1 | 246 |
| 4 | 树莓派、模型书籍 | 搭建项目模型、学习树莓派的资料 | 《树莓派实战》、《飞翔 Padlepadle 实战》 | 4 | 222. 62 |
| 4 | 阿里云服务器 | 模型部署 | 阿里云弹性计算云服务器 | 1 | 243. 5 |

| | | | | | |
|----|-----------|------------------|----------------------|---|---------|
| 6 | 焊台 | 焊接电路 | 安立信 936A 电烙铁 恒温焊台 | 1 | 88 |
| 7 | 3D 打印遮光镜筒 | 固定摄像头焦距、提供黑暗拍摄环境 | 未来工场 3d 打印服务 | 1 | 15 |
| 合计 | | | | | 3220.17 |

五、指导老师意见

完成验收。

签名：



2021 年 4 月 7 日

六、学校专家组验收意见

验收结果：优秀□ 良好□ 通过□ 不通过□
全体专家组成员亲笔签名：

年 月 日

七、学院意见

负责人（签章） 公章
年 月 日

八、学校意见

章 负责人（签章） 公
年 月 日