

第十三届“翱翔杯”研究生电子设计竞赛

技术论文

论文题目：

基于 OpenCV 的智能会员卡

OpenCV-based smart membership card

参赛单位： 西北工业大学

队伍名称： 落地成盒

参赛队员： 王宇飞 侯永 王宝俊

指导教师： 卫保国

完成时间： 2018 年 5 月

摘要

随着生活水平的提高，会员卡已经成为我们日常生活中不可或缺的一部分。然而，传统会员卡在使用和管理方面已经不能满足用户方便、快捷、交互友好的要求。本文搭建了一个基于 OpenCV 的智能会员卡软件平台，作为传统会员卡功能的延伸，以期为用户的生活带来更方便快捷的体验。

本文提出了基于 OpenCV 制作智能会员卡各个模块的基本原理、实现方法以及程序整体的实现效果。程序总共分为四个模块：人脸检测，信息录入后分类器训练，人脸识别和信息标识。人脸检测所用的特征为 Haar 特征，人脸识别所用的特征为 LBP 特征，检测所用分类器均为 Haar 分类器。检测和识别的效果良好，基本可以满足线上训练和实时检测。当前移动网络快速发展，在本文的基础上进行更进一步的移动端开发，将会为用户带来更好的体验。

关键字：OpenCV，会员卡，人脸检测，人脸识别

Abstract

With the improvement of living standards, membership cards have become an indispensable part of our daily lives. However, the traditional membership card can no longer meet the user's requirements of convenience, speed, and interaction in terms of use and management. This article builds an OpenCV-based smart membership card software platform as an extension of the traditional membership card function, with a view to bringing more convenient and faster experience to the user's life.

This paper presents the basic principles, implementation methods and the overall program implementation effect of each module of the smart membership card based on OpenCV. The program is divided into four modules: face detection, post-input classifier training, face recognition and information identification. The features used for face detection are Haar features, the features used for face recognition are LBP features, and the classifiers used for detection are Haar classifiers. The detection and recognition works well and can basically meet online training and real-time detection. The current rapid development of mobile networks, on the basis of this article to further mobile development, will bring users a better experience.

Keywords: OpenCV, membership card, face detection, face recognition

目 录

第一章 作品创意	1
第二章 方案论证与设计	2
2.1 系统的设计方案流程图	2
2.2 系统介绍	2
2.2.1 人脸图像采集	2
2.2.2 人脸图像预处理	2
2.2.3 人脸图像检测	2
2.2.4 人脸图像匹配与识别	3
第三章 原理分析	4
3.1 人脸检测	4
3.1.1 预处理	4
3.1.2 Haar 分类器	5
3.2 人脸识别	7
3.2.1 LBP 特征的描述	7
3.2.2 圆形 LBP 算子	8
3.2.3 LBP 特征用于检测识别的原理	8
第四章 软件设计与流程	10
4.1 需求分析	10
4.2 概要设计	10
4.3 详细设计	10
4.3.1 人脸检测与识别流程	10
第五章 系统测试	12
5.1 软件运行流程	12
5.2 软件演示	12

第六章 作品难点与创新	15
6.1 难点	15
6.2 创新点	15
6.2.1 线上学习	15
6.2.2 很强的扩展性	15
第七章 总结	16

第一章 作品创意

本文中智能会员卡所实现的功能是通过视频采集设备快速检测人脸，之后对指定的人脸和其个人信息进行录入并存储。当消费者再次消费时，采集其人脸图像并且提取脸部特征，然后在人脸图像库中进行匹配，匹配成功后可以实现对该消费者会员信息的修改、最新消费情况的记录等功能。

该设计的优势主要体现在无需会员卡实体且具备高效性、便捷性和环保性，相较于传统会员卡，借助该软件用户能够对似曾相识的面孔实现快速的识别。

第二章 方案论证与设计

2.1 系统的设计方案流程图

流程如图 2-1 所示：

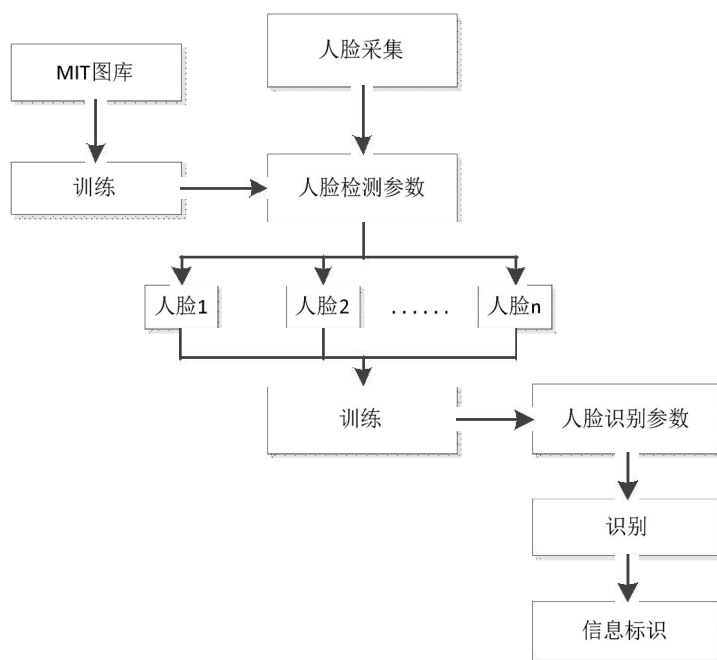


图 2-1 系统测试方案流程

2.2 系统介绍

系统主要包括四个组成部分，分别为：人脸图像采集、人脸图像预处理、人脸图像检测、人脸图像匹配与识别。

2.2.1 人脸图像采集

人脸图像采集：当用户处在采集设备（如摄像头）的拍摄范围内时，采集设备会自动搜索人脸，并拍摄用户的人脸图像。

2.2.2 人脸图像预处理

人脸图像预处理：对于人脸的图像预处理是基于人脸检测结果，对图像进行处理并最终服务于特征提取的过程。系统获取的原始图像由于受到各种条件的限制和随机干扰，往往不能直接使用，必须在图像处理的早期阶段对它进行灰度校正、噪声过滤等图像预处理。对于人脸图像而言，其预处理过程主要包括人脸图像的光线补偿、灰度变换、直方图均衡化、归一化、几何校正、滤波以及锐化等。

2.2.3 人脸图像检测

人脸检测：人脸检测在实际中主要用于人脸识别的预处理，即在图像中准确标定出人脸的位置和大小。人脸图像中包含的模式特征十分丰富，如直方图特征、颜色特征、模板特征、结构特征及 Haar 特征等。人脸检测就是把这其中有用的信息挑出来，并利用这些特征实现人脸检测。

我们使用的人脸检测方法基于以上特征采用 Adaboost 学习算法，Adaboost 算法是一种用来分类的方法，它把一些比较弱的分类方法合在一起，组合出新的很强的分类方法。

人脸检测过程中使用 Adaboost 算法挑选出一些最能代表人脸的矩形特征（弱分类器），按照加权投票的方式将弱分类器构造为一个强分类器，再将训练得到的若干强分类器串联组成一个级联结构的层叠分类器，有效地提高分类器的检测速度。

2.2.4 人脸图像匹配与识别

提取的人脸图像的特征数据与数据库中存储的特征模板进行遍历匹配，通过设定一个阈值，当距离小于这一阈值，则把匹配得到的结果输出。人脸识别就是将待识别的人脸特征与已得到的人脸特征模板进行比较，根据相似程度对人脸的身份信息进行判断。方案中我们采用基于 LBP 的人脸识别算法。

第三章 原理分析

3.1 人脸检测

首先当人处在摄像头的采集区域里，截取视频的第 n 帧图像作为样本，对样本预处理（包括灰度化，高斯平滑，直方图均衡化），这样可以加快检测速度。人脸检测算法主要是利用级联的 harr 分类器来实现人脸的检测，对检测到的人脸进行标号，陌生人则进行信息录入，认识的人则会在下一个模块进行识别，在其旁边显示信息。

3.1.1 预处理

在人脸识别中，由于光照变化所引起的阴影、遮挡、阴暗区、高光都会使识别率大幅下降，因此需要采用预处理的方法来调整系统读入的人脸图像。本文对人脸图像进行预处理的步骤依次为：

（1）灰度变化

彩色图像转灰度图像的过程从颜色空间上来看就是一个将彩色三维颜色空间通过转换变换到一维灰度颜色空间的过程。在 RGB 颜色空间中，一般有以下四种方法对图像进行灰度转换。

分量法将 RGB 彩色图像中的三分量的值的某个作为灰度图像的灰度值，可根据应用需要选取一种分量作为灰度图像，该方法的表达式为：

$$f(i, j) = R(i, j) \text{ 或 } f(i, j) = G(i, j) \text{ 或 } f(i, j) = B(i, j)$$

最大值法是取 RGB 三个分量的最大值作为转换后的灰度图像的灰度值，该方法的表达式为：

$$f(i, j) = \max(R(i, j), G(i, j), B(i, j))$$

平均值法将彩色图像中的三分量亮度求平均得到一个灰度值，该方法的表达式为：

$$f(i, j) = \frac{1}{3}(R(i, j) + G(i, j) + B(i, j))$$

加权平均法根据需要，把三种颜色的重要程度用数值（即权重值）表现出来，再将 RGB 三个分量以不同的权值进行加权求和，大量的事实表明对 RGB 分量分别为 0.2989、0.5870、0.1140 加权，转换灰度图像效果比较好。该方法的表达式为：

$$f(i, j) = 0.2989 * R(i, j) + 0.5870 * G(i, j) + 0.1140 * B(i, j)$$

灰度变化的目的是改善读入图像的画质，使图像的显示效果更加清晰。但与此同时也可能会丢失原始图像的部分信息。因此，尽可能在转化的过程中避免上

述情况的发生。

(2) 直方图均衡

直方图均衡化方法是对图像中像素个数多的灰度级进行展宽,而对图像中像素个数少的灰度进行压缩,从而扩展像元取值的动态范围,提高了对比度和灰度色调的变化。当图像的像素占有很多的灰度级而且分布均匀,那么这样的图像往往有高对比度,在一定程度上削弱了光照的影响,更易于识别。

设原图像像素总数为 N , 有 L 个灰度级, 第 k 个灰度级 r_k 出现的频次为 n_k , 则直方图均衡化后对应的灰度为:

$$s_k = T[r_k] = \sum_{l=0}^k \frac{n_l}{N} = \sum_{l=0}^k h_l = s_{k-1} + \frac{n_k}{N} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

变换后的灰度 s_k 是 $[0, 1]$ 的区间内的小数。通常还要把 s_k 转化为用整数表示的灰度级 \hat{s}_k 。根据线性变换原理, 并考虑到最后的结果为整数, 则有

$$\hat{s}_k = \text{int} \left[\frac{\hat{s}_{\max} - \hat{s}_{\min}}{1 - s_{\min}} (s_k - s_{\min}) + \hat{s}_{\min} + 0.5 \right] \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

式中 $\text{int} [\]$ 表示取整运算。通常情况下 $\hat{s}_{\min} = 0$, $\hat{s}_{\max} = L$, 若假设 $s_{\min} = 0$, 则上式可简化为

$$\hat{s}_k = \text{int}[(L-1)s_k + 0.5] = \text{int}[(L-1) \sum_{l=0}^k \frac{n_l}{N} + 0.5] \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

但是直方图均衡化图像增强的机理在于:

(1) 占有较多像素的灰度级变换后和前一个灰度级的级差增大, 即扩大了量化间隔。一般地讲, 背景与目标占有较多的像素, 这种技术实际上加大了目标与背景的对比度;

(2) 占有较少的像素的灰度级变换后和前一个灰度级的级差减小, 或者被归并。一般地讲, 边界附近即目标与背景的过渡处像素减少, 被归并为背景点或者目标点, 从而使边界变得陡峭。

3.1.2 Haar 分类器

Haar 分类器是一个基于树的分类器, 它建立了 boost 筛选式级联分类器。可以使用 OpenCV 中的“人脸”检测器来检测“基本刚性的”物体(例如脸、汽车、自行车和人体等)。通过成千上万的物体各个角度的训练图像, 训练出新的分类器、这个技术被用来设计目前最优的检测算法。因此, 对于此类识别的任务,

Haar 分类器是一个有用的工具。

首先，利用样本（大约几百幅样本图片）的 Haar 特征进行分类器训练，得到一个级联的 boosted 分类器。训练样本分为正例样本和反例样本，其中正例样本是指待检目标样本（例如人脸或汽车等），反例样本指其它种类的任意图片，所有的样本图片都被归一化为同样的尺寸大小（例如，20x20）。

分类器训练完以后，就可以应用于输入图像中的感兴趣区域（与训练样本相同的尺寸）的检测。检测到目标区域（汽车或人脸）分类器输出为 1，否则输出为 0。为了检测整副图像，可以在图像中移动搜索窗口，检测每一个位置来确定可能的目标。为了搜索不同大小的目标物体，分类器被设计为可以进行尺寸改变，这样比改变待检图像的尺寸大小更为有效。所以，为了在图像中检测未知大小的目标物体，扫描程序通常需要用不同比例大小的搜索窗口对图片进行几次扫描。

分类器中的“级联”是指最终的分类器是由几个简单分类器级联组成。在图像检测中，被检窗口依次通过每一级分类器，这样在前面几层的检测中大部分的候选区域就被排除了，全部通过每一级分类器检测的区域即为目标区域。目前支持这种分类器的 boosting 技术有四种：DiscreteAdaboost, Real Adaboost, Gentle, Adaboost and Logitboost。“boosted”即指级联分类器的每一层都可以从中选取一个 boosting 算法（权重投票），并利用基础分类器的自我训练得到。

基础分类器是至少有两个叶结点的决策树分类器 Haar 特征是基础分类器的输入，目前的算法主要利用下面的 Harr 特征。每个特定分类器所使用的特征用形状、感兴趣区域中的位置以及比例系数（这里的比例系数跟检测时候采用的比例系数是不一样的，尽管最后会取两个系数的乘积值）来定义。例如在线性特征的第一张图片的情况下，响应计算为覆盖全部特征整个矩形框（包括两个白色矩形框和一个黑色矩形框）像素的和减去黑色矩形框内像素和的三倍。每个矩形框内的像素和都可以通过积分图像很快的计算出来。

下面列举了几种最常用的特征模板：



图 3-1a 边缘特征

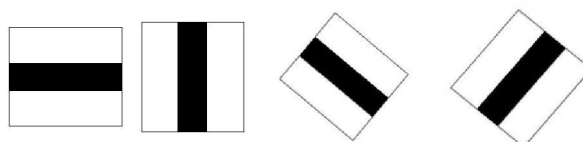


图 3-1b 线形特征

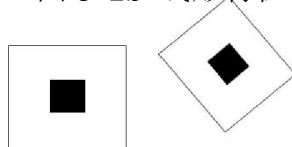


图 3-1c 中心环绕特征

3.2 人脸识别

3.2.1 LBP 特征的描述

LBP 即 Local Binary Pattern，局部二值模式，主要应用于图像的特征提取，在这里我们使用 LBP 来提取人脸特征。最原始的 LBP 称为灰度不变模式，也就是说 LBP 算子对于光照具有极强的鲁棒性。其原理是构造一个 3×3 的模板，在这样一个模板中以中心像素的灰度值为阈值，进行二值化，当模板内的邻域像素灰度值大于中心像素灰度值时，将该像素记为 1，否则记为 0，然后按照顺时针或者逆时针的顺序对所得到的 01 序列进行编码。由于我们使用的是 3×3 的模板，因此会得到八位二进制码，将此八位二进制码展开为十进制数，就是所得到的模板中心像素的 LBP 值，遍历原图的每一个像素，得到的新的图像，就是原始图像的 LBP 图像，可以看出在这样的模板里，我们关注的是中心像素与邻域像素的相对关系，而不是全局的灰度值与某一点像素值的关系，这样进行的局部二值化只会在明暗变化明显的地方才会出现明显的边缘，即使在全图上存在多个光照不均匀的地方，但是局部二值化时，这些不均匀的地方就变成了均匀的。因此 LBP 对光照具有很强的鲁棒性。下图是一个简单的实例：

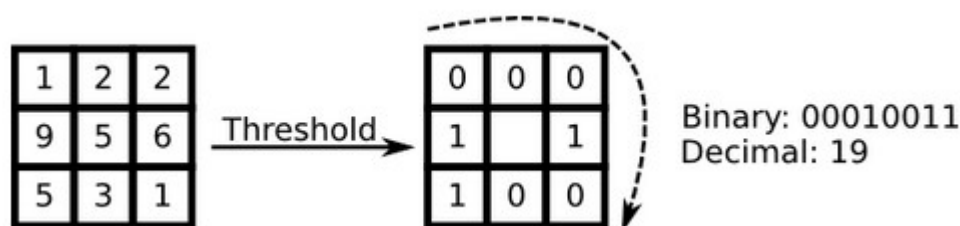


图 3-2 LBP 算子生成示意

用比较正式的公式来定义的话：

$$\text{LBP}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{p=1} 2^p s(i_p - i_c)$$

其中 (x_c, y_c) 代表 3×3 邻域的中心元素，它的像素值为 i_c ， i_p 代表邻域内其他像素的值， $s(x)$ 是符号函数，定义如下：

$$s(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

3.2.2 圆形 LBP 算子

基本的 LBP 算子的最大缺陷在于它只覆盖了一个固定半径范围内的小区域，这显然不能满足不同尺寸和频率纹理的需要。为了适应不同尺度的纹理特征，并达到灰度和旋转不变性的要求，Ojala 等对 LBP 算子进行了改进，将 3×3 邻域扩展到任意邻域，并用圆形邻域代替了正方形邻域，改进后的 LBP 算子允许在半径为 R 的圆形邻域内有任意多个像素点。从而得到了诸如半径为 R 的圆形区域内含有 P 个采样点的 LBP 算子，比如下图定义了一个 5×5 邻域

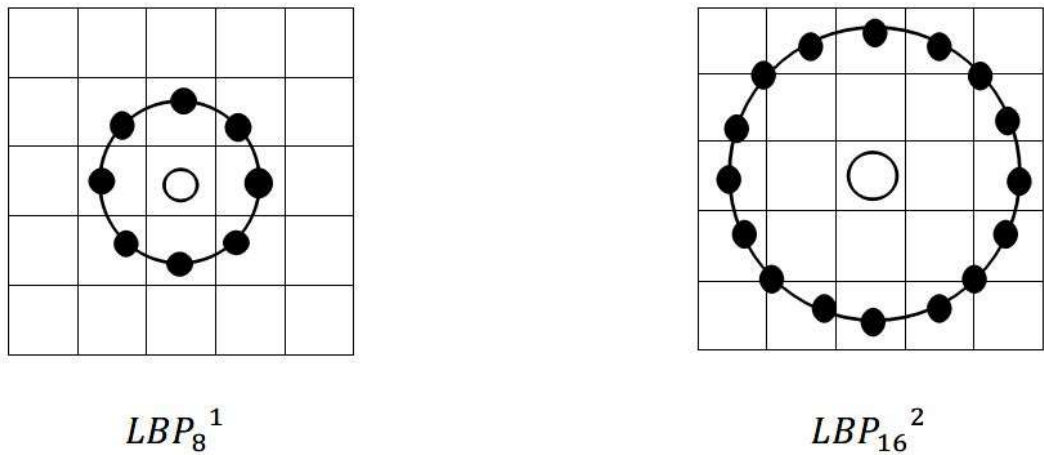


图 3-3 8 点和 16 点的 LBP 圆形算子

上图中有八个黑色的采样点，每个采样点的值可以通过下式计算：

$$\begin{aligned} x_p &= x_c + R \cos\left(\frac{2\pi p}{P}\right) \\ y_p &= y_c - R \sin\left(\frac{2\pi p}{P}\right) \end{aligned}$$

其中 (x_c, y_c) 为邻域中心点， (x_p, y_p) ， $p \in P$ 为某个采样点。通过上式可以计算任意个采样点的坐标，但是计算得到的坐标未必完全是整数，所以可通过双线性插值来得到该采样点的像素值：

$$f(x, y) \approx \begin{bmatrix} 1-x & x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) \\ f(1,0) & f(1,1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-y \\ y \end{bmatrix}$$

3.2.3 LBP 特征用于检测识别的原理

上述提取的 LBP 算子在每个像素点都可以得到一个 LBP “编码”，那么，对一幅图像（记录的是每个像素点的灰度值）提取其原始的 LBP 算子之后，得到的原始 LBP 特征依然是“一幅图片”（记录的是每个像素点的 LBP 值）。LBP

的应用中，如纹理分类、人脸分析等，一般都不将 LBP 图谱作为特征向量用于分类识别，而是采用 LBP 特征谱的统计直方图作为特征向量用于分类识别。例如原始图像如图 3-4a，它对应的 LBP 图谱如图 3-4b。



图 3-4 LBP 图像生成实例

进行识别时，直接对两幅图片提取这种“特征”，并进行判别分析的话，会因为“位置没有对准”而产生很大的误差。后来，研究人员发现，可以将一幅图片划分为若干的子区域，对每个子区域内的每个像素点都提取 LBP 特征，然后，在每个子区域内建立 LBP 特征的统计直方图。如此一来，每个子区域，就可以用一个统计直方图来进行描述，整个图片就由若干个统计直方图组成。利用 LBP 人脸识别的总体步骤：

- (1) 将检测出来的人脸图像，进行预处理（灰度化）。
- (2) 首先将预处理后的人脸图像划分为 8×8 的小区域（cell）。
- (3) 对于每个 cell 中的一个像素，将相邻的 8 个像素的灰度值与其进行比较，若周围像素值大于中心像素值，则该像素点的位置被标记为 1，否则为 0。这样， 3×3 邻域内的 8 个点经比较可产生 8 位二进制数，即得到该窗口中心像素点的 LBP 值。
- (4) 然后计算每个 cell 的直方图，即每个数字（假定是十进制数 LBP 值）出现的频率；然后对该直方图进行归一化处理。
- (5) 最后将得到的每个 cell 的统计直方图进行连接成为一个特征向量，也就是整幅图的 LBP 纹理特征向量。
- (6) 定义卡方距离，设定阈值。计算出待测人脸的 LBP 纹理特征向量与训练得到的特征向量之间的距离，当小于该阈值时，识别成功，否则识别失败。

第四章 软件设计与流程

4.1 需求分析

该程序的定位是一款智能会员的快速识别软件。所谓快速，指的是能在不影响使用者正常交流的情况下快速地对陌生人的头像录入以便于在某一场合能够对陌生人进行快速地识别。录入的样本图像可以来自于微信，微博等等交友平台上发布的照片，当然也可以直接来自于图像采集设备。

在能够识别的基础上要调用程序后台的数据库，对显示屏上的人脸进行正确的描述。

4.2 概要设计

程序大致上可以分为 3 部分：

（1）对新会员的信息录入，包括他的头像和基本的文字信息，这部分涉及到人脸识别以及后台数据文件的设计。

（2）利用得到的样本数据，提取 LBP 特征来对 Haar 分类器进行训练，以便于下次见到友人后能够正确的识别。

（3）对新友人进行识别并调用程序后台的数据对其进行标识。

4.3 详细设计

4.3.1 人脸检测与识别流程

流程图如图 4-1

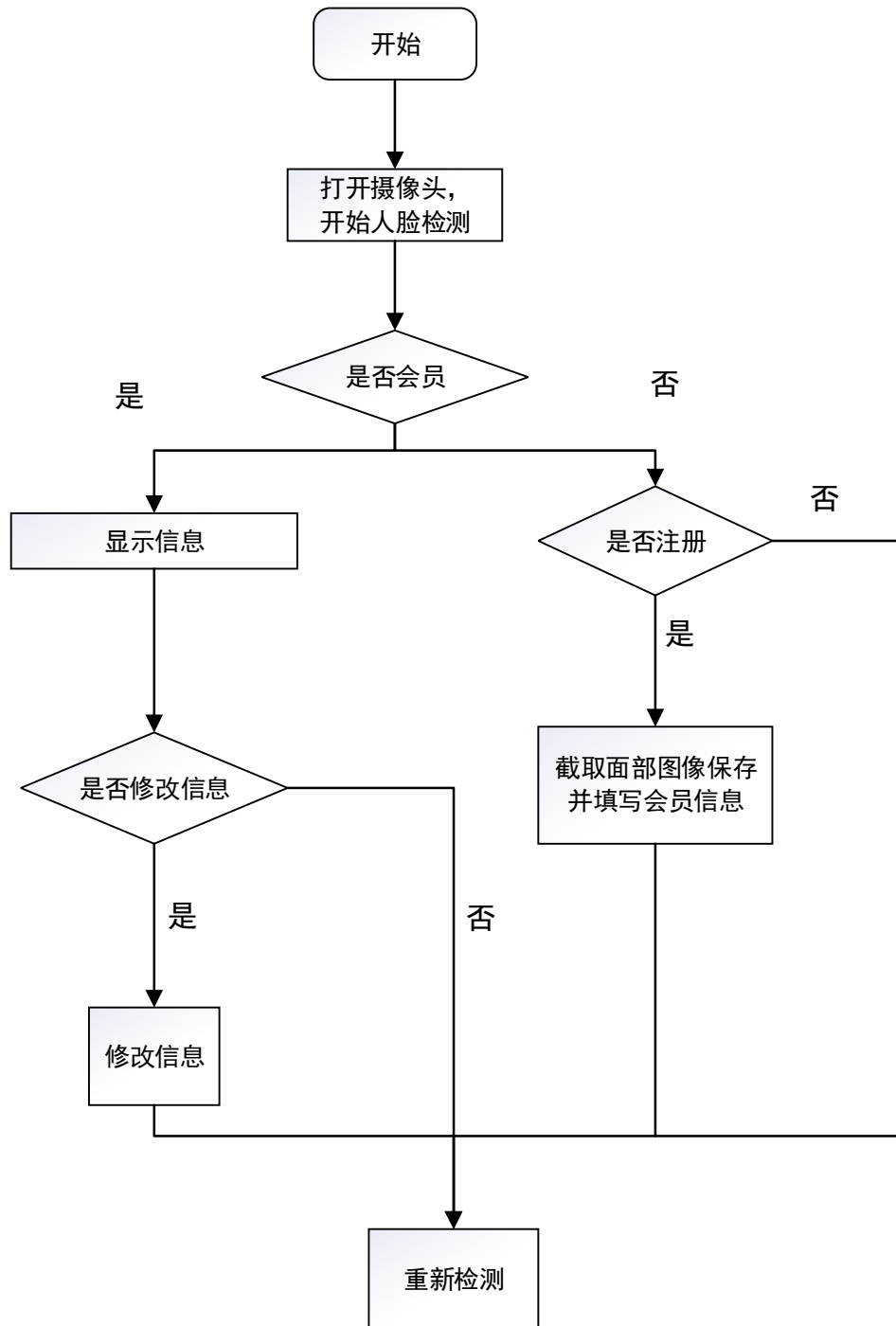


图 4-1 系统流程图

第五章 系统测试

5.1 软件运行流程

初始化：检测之前是否存储过该会员的信息，如果存储过，则提取会员的数目，如果没有，则新建文件来存储会员的信息。

5.2 软件演示

我们将展示一个非会员注册为会员的过程，这个过程展示了软件的所有功能。如图 1 所示，运行软件，软件检测这个人为非会员，并提示是否将他注册为会员。

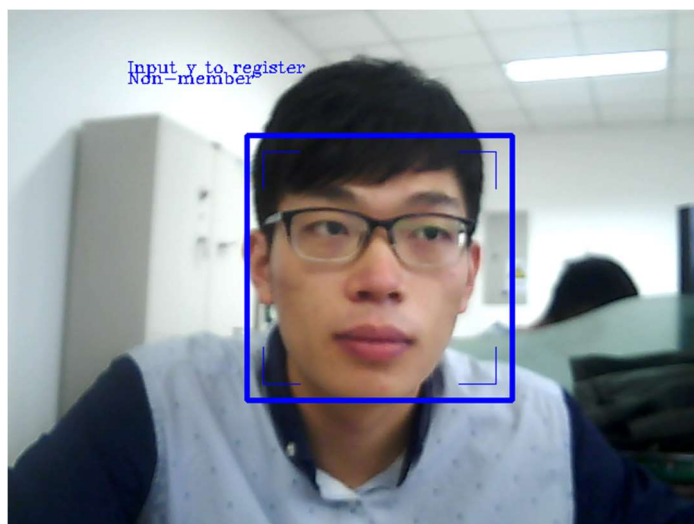


图 5-1 检测为非会员

如图 2 所示，我们截取会员的脸部信息进行存储，并输入会员的信息，如名字，积分。当信息录入成功时，显示注册成功。

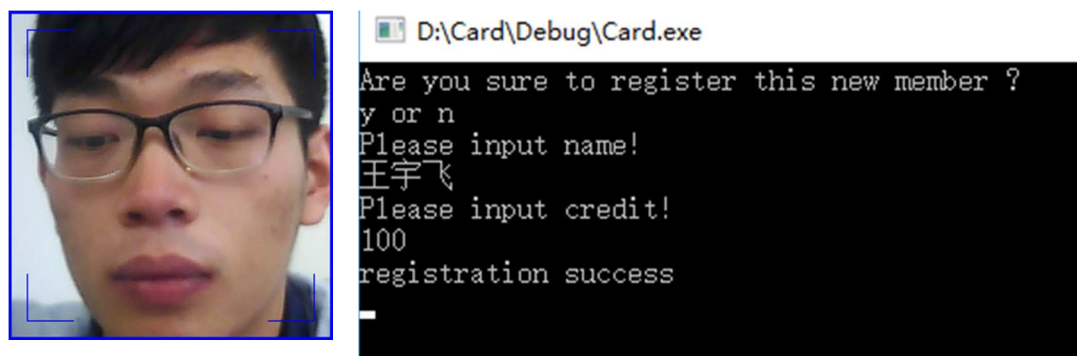


图 5-2 会员信息注册

如图 3 所示，当注册为会员之后，当再检测到此人时就会显示为会员，并提

示是否显示会员的信息。

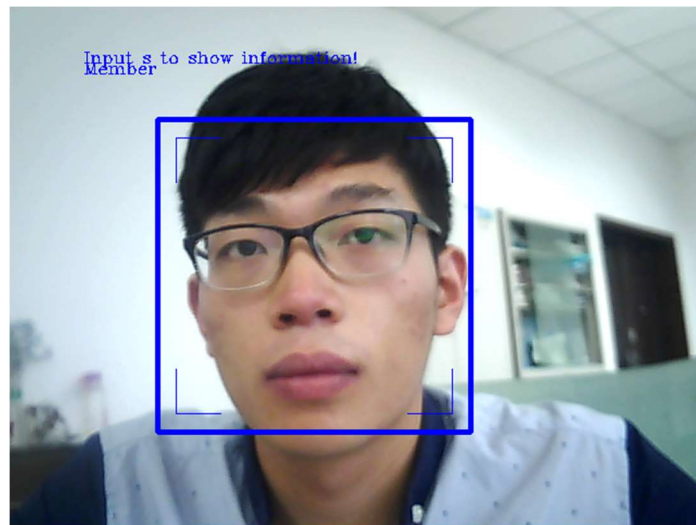


图 5-3 检测为会员

当用户选择显示会员的信息时，如图 4 所示，会员的信息被显示出来（与此人注册时的信息相同），并提示是否修改会员信息。

```
D:\Card\Debug\Card.exe
Are you sure to register this new member ?
y or n
Please input name!
王宇飞
Please input credit!
100
registration success
姓名: 王宇飞
积分: 100
Do you want to change the information?
y or n
```

图 5-4 显示会员的信息

当会员的信息发生变化并需要修改时，用户选择修改会员信息，并输入会员的新信息。当我们重新显示会员的信息时，我们发现会员的信息已经被修改且为修改过的值。

```
Do you want to change the information?  
y or n  
Please input new credit!  
Input in the form of four digits!  
250  
姓名: 王宇飞  
积分: 250  
  
Do you want to change the information?  
y or n
```

图 5-5 修改信息并显示

第六章 作品难点与创新

6.1 难点

人脸检测和识别算法的准确性和实时性是本程序达到预期效果的难点。这两点也是一种人脸检测和识别算法需要权衡的地方，一般地，在给定硬件平台和给定样本数据的情况下，算法的准确性越高，耗时就越长，就越难达到实时性，在本程序中，我们尝试在人脸检测之前进行一些预处理以提高检测速度，另一方面借助于 LBP 特征来进行人脸识别，以提高对样本量小，识别环境变化的鲁棒性。

6.2 创新点

6.2.1 线上学习

现在的大部分算法，需要对样本进行单独的训练，然后完成检测。识别也是一样，我们的系统实现了边训练边学习，用程序在后台建立样本数据和录入信息存储文件，从前端操作的角度来看，交互方式较为友好。

6.2.2 很强的扩展性

(1) 可以将该设备运用于超市、酒店、商城和酒吧等场所，具备通用性，且可以自主设置需要的信息；

(2) 开发出 android 和 ios 版 app，通过安装该应用程序可以在任何带有摄像头的智能移动终端设备上使用，提高便捷性。

(3) 开发基于用户人脸信息的多用户智能验证系统。

第七章 总结

本文设计了一个智能会员卡软件，相较于传统以会员号为关键字标识的会员卡而言，本设计是以人脸为检索对象，依据 Haar 特征的人脸检测和 LBP 特征的人脸识别算法，并借助 OpenCV 库来实现。在系统的实际测试过程中，准确性和实时性都具有良好的效果。由于 OpenCV 具有良好的可移植性，有望在日后将其移植到移动端，真正实现它的价值。

在作品设计的过程中，卫保国老师和师兄师姐的给与了很多指导和帮助，在此对他们表示诚挚的谢意。