**分类号： TP311 密 级：公 开**

**U D C ： 单位代码： 10424**

**学 位 论 文**

**Android平台上基于人脸识别的身份认证系统的设计与实现**

**XXX**

**申请学位级别：硕士学位 专业名称：电子与通信工程**

**指导教师姓名：X X X 职 称：教 授**

**山东科技大学**

**二🌕一八年四月**

**论文题目：**

**Android平台上基于人脸识别的身份认证系统的设计与实现**

**作者姓名：X X X**  **入学时间：2015年9月**

**专业名称：电子与通信工程 研究方向：图像处理与模式识别**

**指导教师：X X X 职 称：教 授**

**论文提交日期：2018年4月**

**论文答辩日期：2018年6月**

**授予学位日期：**

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF FACE RECOGNITION IDENTITY AUTHENTICATION SYSTEM BASED ON ANDROID PLATFORM**

**A Dissertation submitted in fulfillment of the requirement of the degree of**

**MASTER OF PHILOSOPHY**

**from**

**Shandong University of Science and Technology**

**by**

**XXX**

**Supervisor： Professor XXX**

**College of Electronic Communication and Physics**

**April 2018**

**学位论文原创性声明**

**本人呈交给山东科技大学的这篇硕士学位论文，除所列参考文献和世所公认的文献外，全部是本人攻读学位期间在导师指导下的研究成果。除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。**

**若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。**

**硕士生签名：**

**日 期：**

**学位论文使用授权声明**

**本人完全了解山东科技大学有关保留、使用学位论文的规定，同意本人所撰写的学位论文的使用授权按照学校的管理规定处理。**

**作为申请学位的条件之一，学校有权保留学位论文并向国家有关部门或其指定机构送交论文的电子版和纸质版；有权将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库发表，并可以以电子、网络及其他数字媒体形式公开出版；允许学校档案馆和图书馆保留学位论文的纸质版和电子版，可以使用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文；为教学和科研目的，学校档案馆和图书馆可以将公开的学位论文作为资料在档案馆、图书馆等场所或在校园网上供校内师生阅读、浏览。**

**（保密的学位论文在解密后适用本授权）**

**硕士生签名： 导师签名：**

**日 期： 日 期：**

**学位论文审查认定书**

**研究生 在规定的学习年限内，按照培养方案及个人培养计划，完成了课程学习，成绩合格，修满规定学分；在我的指导下完成本学位论文，论文中的观点、数据、表述和结构为我所认同，论文撰写格式符合学校的相关规定，同意将本论文作为申请学位论文。**

**导师签名：**

**日 期：**

**摘要**

随着移动互联网与人工智能技术的发展，基于个人特征的生物识别技术代替传统的身份验证方式已经是大势所趋。而人脸识别是生物识别技术的一个重要组成部分，拥有其他生物识别技术没有的独特优势。本文主要针对基于Android平台下的人脸识别身份认证系统进行了设计和实现。

本文的主要工作概括如下：

1.对原始图像预处理算法进行了介绍和研究，首先，对采集的图像进行灰度归一化的操作，增强图像对比度，让不同成像条件下拍摄的同一个人的图像保持一致。然后，对于灰度后的图像进行了直方图均衡化的操作，其作用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。最后一步预处理工作是对图像进行滤波操作，消除噪点。

2.对Adaboost人脸检测算法的概念进行了介绍，对特征提取算法进行了介绍，对人脸区域进行特征提取，可以有效的降低人脸图像的维数，提髙下一步分类器分类识别的效率和准确率。这里重点介绍了基于PCA的特征提取算法，并详细描述了PCA特征提取的几个过程。

3.对人脸识别的概念和分类算法进行了介绍，重点介绍了常见的几种机器学习分类器算法的概念和原理。重点研究了最近邻分类器算法和支持向量机分类器算法。通过分析人脸身份认证系统的使用场景和尽可能提高人脸识别准确率，提出了基于最近邻算法（KNN）和支持向量机算法（SVM）相结合的分类器算法。经过在一些公共数据集上的测试，这种相结合分类器算法比单独使用最近邻算法或支持向量机算法在人脸识别上具有更高的准确率和性能优势。

4.整个身份认证系统在Android平台上的实现。在进行系统需求分析后，根据Android系统的特点进行了系统框架的搭建。主要应用了Android SDK实现界面和摄像头采集图片的工作，用C++语言和OpenCV库实现了图像处理的算法，并用JNI和Android NDK结合起来，组成一个完成的系统。

**关键词：**Android，人脸识别，OpenCV，Adaboost，身份验证，SVM

**ABSTRACT**

In recent years, research on artificial intelligence theory has been applied to intelligent decision-making, intelligent search, machine learning, natural language processing, and deep learning. With the explosion of mobile Internet in recent years, the need for identification has become more and more popular. The number of online accounts and membership card accounts have become more and more important. Due to the large demand for such network authentication, various account passwords have caused confusion for users. Some accounts may be forgotten when they are not used for a period of time. The password or even the account has brought great inconvenience to the user and increased the meaningless memory burden. All accounts use the same password and there is a great security risk. Biometrics, especially face recognition, have attracted attention and research from the majority of scholars due to their high stability, safety, and uniqueness. This paper focuses on the design and implementation of face recognition authentication system based on Android platform.

The main work of this article is summarized as follows:

1.The original image preprocessing algorithm is introduced and researched. Through the image preprocessing algorithm, the original image's contour is clearer and the contrast is stronger. First of all, the original image is grayscale normalized. In order to reduce the influence of illumination and other factors on the image, the grayscale image is further subjected to histogram equalization processing. After the histogram equalization processing, the image will be More clear and soft, and finally introduced several image filtering solutions to eliminate noise.

2. The concept of face detection algorithm is introduced. By designing the face detection classifier, the Adaboost algorithm is introduced. The weak classifier is trained from the extracted Haar features, and a weak classifier constitutes a strong classifier. A number of strong classifiers are used to form a cascade classifier. Finally, face detection classifiers are obtained for the last error-adjusted parameters. The feature extraction algorithm is introduced. The feature extraction of face region can effectively reduce the dimension of face image and extract the key feature information of face, so as to improve the efficiency and accuracy of the next classifier classification recognition. This paper focuses on the feature extraction algorithm based on PCA, introduces the principle of K-L transformation, and describes in detail the process of PCA feature extraction.

3. The concepts and classification algorithms of face recognition are introduced, and the concepts and principles of several common machine learning classifier algorithms are highlighted. Focused on the nearest neighbor classifier algorithm and support vector machine classifier algorithm. By analyzing the use scenario of face identity authentication system and improving the accuracy of face recognition as much as possible, a classifier algorithm based on the combination of nearest neighbor algorithm (KNN) and support vector machine algorithm (SVM) is proposed. After testing on some common data sets, this combined classifier algorithm has higher accuracy and performance advantages in face recognition than using the nearest neighbor algorithm or support vector machine algorithm alone.

**Key words**: Android, Face recognition, OpenCV, Adaboost, Authentication, SVM

**目录**

[摘要 I](#_Toc511404002)

[目录 V](#_Toc511404003)

[1 绪论 1](#_Toc511404040)

[**1.1 课题研究背景及意义** 1](#_Toc511404041)

[**1.2 国内外研究现状 3**](#_Toc511404042)

[**1.3 本文主要研究内容与组织结构** 6](#_Toc511404043)

[2人脸图像预处理 9](#_Toc511404044)

[**2.1 灰度归一化** 9](#_Toc511404045)

[**2.2 直方图均衡化** 11](#_Toc511404046)

[**2.3 图像滤波** 13](#_Toc511404047)

[**2.4 本章小结** 15](#_Toc511404048)

[3人脸检测与识别算法 16](#_Toc511404049)

[**3.1人脸检测算法** 16](#_Toc511404050)

[**3.2人脸特征提取** 21](#_Toc511404051)

[**3.3 人脸识别算法** 22](#_Toc511404052)

[**3.4 本章小结** 30](#_Toc511404053)

[4 Android环境搭建和开发技术 31](#_Toc511404054)

[**4.1 Android系统概述与优势** 31](#_Toc511404055)

[**4.2 Android应用组件** 32](#_Toc511404056)

[**4.3 Android开发准备** 34](#_Toc511404057)

[**4.4 本章小结** 39](#_Toc511404058)

[5 基于Android平台的身份认证系统的设计与实现 40](#_Toc511404059)

[**5.1 系统功能分析** 40](#_Toc511404060)

[**5.2 实验与结果分析** 40](#_Toc511404061)

[**5.4 本章小结** 44](#_Toc511404062)

[6 总结与展望 45](#_Toc511404063)

[**6.1 本章小结** 45](#_Toc511404064)

[**6.2未来的展望** 46](#_Toc511404065)

[参考文献 47](#_Toc511404066)

[致谢 51](#_Toc511404067)

[攻读硕士期间主要研究成果 52](#_Toc511404068)

**Contents**

[Abstract](#_Toc511145070) I

[Contents V](#_Toc511145071)

[1 Introduction](#_Toc510967133) 1

[1.1 Project research background and significance](#_Toc510967134) 1

[1.2 Research status at home and abroad](#_Toc510967135) 3

[1.3 This article mainly studies the content and organizational structure](#_Toc510967136) 6

[2 Face image preprocessing](#_Toc510967137) 9

[2.1 Grayscale normalization](#_Toc510967138) 9

[2.2 Histogram equalization](#_Toc510967139) 11

[2.3 Image filtering](#_Toc510967140) 13

[2.4 Chapter summary](#_Toc510967141) 16

[3 Face Detection and Recognition Algorithm](#_Toc510967142) 17

[3.1 Face detection algorithm](#_Toc510967143) 17

[3.2 Face feature extraction](#_Toc510967144) 17

[3.3 Face recognition algorithm](#_Toc510967145) 23

[3.4 Chapter summary](#_Toc510967146) 24

[4 Android environment to build and develop technology](#_Toc510967148) 28

[4.1 Android system overview and advantages](#_Toc510967149) 28

[4.2 Android application components](#_Toc510967150) 29

[4.3 Android development preparation](#_Toc510967151) 29

[4.4 Chapter summary](#_Toc510967154) 38

[5 Construction of Android Environment and Implementation of Face Recognition System](#_Toc510967155) 39

[5.1 System function analysis](#_Toc510967156) 39

[5.2 Experiment and result analysis](#_Toc510967157) 40

[5.3 Chapter summary](#_Toc510967160) 51

[6 Summary and outlook](#_Toc510967161) 52

[6.1 Chapter summary](#_Toc510967162) 52

[6.2 Future outlook](#_Toc510967163) 53

[References 53](#_Toc511145103)

[Acknowledgements 57](#_Toc511145104)

[Major research results during the master's degree 58](#_Toc511145105)

# 绪论

## **1.1 课题研究背景及意义**

当前，人工智能理论的研究己经应用于智能决策、智能捜索、机器学习、自然语言处理、深度学习等多个方面，随着最近几年移动互联网的爆发，身份识别的需求也变得越来越普及，互联网相关业务帐号注册、网络银行业务办理、校园卡业务办理，甚至各大超市商场的会员卡的业务办理，基本上都需要各种身份验证，由于这一类网络身份验证的需求量过大，尤其表现在互联网上各种帐号的申请，原始的帐号密码申请呈现出了很大的弊端，各种不同的帐号密码让用户产生了混淆，可能一些帐号一段时间不使用就会忘记密码甚至帐号，给用户带来了极大的不便，增加了无意义的记忆负担；而所有帐号全部使用相同的密码存在很大的安全隐患，例如之前的CSDN、12306账号密码泄漏事件，一旦帐号密码被不法份子获取，会给用户的钱财和隐私带来威胁。因此寻找一种更简便、快捷、安全的身份验证方式成为了各大离校实验室、研究所、知名互联网研究院等研究机构的研究热点。生物识别由于具备高度的稳定性、安全性、唯一性等特点，备受广大学者们的关注和研究[1]。相比其他几种生物识别方式，人脸识别具备许多其特有的优势。首先，由于人脸识别所需要的识别特征是人脸的图像信息，而人脸图像的采集是不需要通过接触的，只需要通过照相机拍摄照片即可，可以较远距离实现身份确认，相比于指纹、掌纹等需要接触性质的生物识别方式要更加的方便和友好。而人脸识别相比于手势识别、步态识别这些容易被模仿和伪造的生物识别方式更加安全。最后人脸图像提取的特征信息相比于步态、语音、手势等更加容易存储。基于这些方面的考虑，关于人脸识别的一些技术更加受到了用户的喜爱和认可。

苹果公司于2007年1月初推出了ios系统和基于ios系统的iphone手机，2008年9月下旬谷歌公司发布了基于Linux系统的移动操作系统Android[2]，Android移动操作系统的推出刷新了人们对智能手机的观念，诺基亚和它的Symbian操作系统瞬间走下神坛[3-4]，当前，Android和ios这两大移动端的系统已经占据了移动端系统的几乎全部市场。与此同时，硬件厂商也不断推出各种高性能硬件，由于Android操作系统的开放性，各大手机创业公司加入了这个浪潮之中，并对原生的Android操作系统的进行了部分重新设计，定制了具有自己独特风格的手机系统，例如小米科技的Miui，魅族公司的Flyme，—加手机氮OS，锤子手机的SmartisanOS等等。相比域传统PC，由于移动终端的具有易便携性、操作灵活的特点，通过几年的迅猛增长，移动互联网己占据整个互联网的大半江山。Android操作系统目前已经发布至Android8.0，最新API版本号为27，每个大的版本都会有较大的改变，例如在Android5.0中发布了震惊世界的Material Design，根据谷歌公司官方数据统计，截至2018年1月8日，99.7%以上的基于Android操作系统的手机的Android版本在4.0以上，其中Android6.0占据28.1%的最商份额。当前Android和ios两大移动操作系统的竞争已经进入白热化的阶段，苹果公司和谷歌公司都希望自己的移动操作系统能够更多的占据市场上的份额，就目前阶段来看，由于Android系统对源代码进行了开放，市面上的各大手机厂商都开发了基于Android操作系统的定制系统[5]，而ios只存在与苹果公司的iPhone、iPad等产品，因此Android操作系统目前处于领先的地位[6]。根据数据研究公司IDC的数据统计报告，Android操作系统将持续保持领先，ios操作系统的份额将出现小幅度的下滑，预计至2019，Android将占据移动操作系统市场的82.6％比例[7]，届时ios将占据移动操作系统的比例为14:1。IDC还表示，2017年基于Android操作系统的手机出货量约为15.3亿部[8]，这一数字在2021年将增至19亿部，届时智能手机将占据整体手机市场92%的份额。

从身份认证发展趋势以及移动互联网未来发展趋势考虑，基于Android系统的人脸识别身份认证系统的研究很有前景[9]。例如，这几年的时间，很多电商、O2O平台兴起，移动互联网上的身份验证应用场景越来越多，例如支付宝、微信支付、饿了么、美团、滴滴打车、大众点评等应用已经渗入到了人们衣食住行的方方面面，给人们生活带来了极大的方便，同时也带来了一些相应的安全隐患，因此，考虑通过人脸识别的方式来取代传统帐号密码的必要性不言而喻。同时这项工程也具有很大的挑战性，首先人脸识别一直存在拍摄时光线干扰、被拍摄者的表倩姿态、样本的残缺等难点问题需要解决；另一方面，基于Android的终端性能虽然在不断提高，但是相比传统PC的CPU，性能上仍然有不小差距，因此在识别效率上相比传统PC会慢一点，尤其是在大规模识别的应用场景下，例如警方对嫌疑人的照片进行识别，以及一些人脸识别捜索系统等，效率会成为一个比较重要的参考因素；最后，人脸识别具有很髙的理论研究价值，它涉猎的知识范围到较广，有一定的深度。综上所述，基于Android平台下的人脸识别身份认证系统具有较大的研究意义。

## 1.2 国内外研究现状

人脸识别包括原始图像预处理、原始图像中人脸区域检测、对检测到的人脸区域进行特征提取、特征的分类识别这几个过程[10-11]。20世纪50年代左右，逐渐有人开始了人脸识别技术的研究，Chan和Bledsoe首次发表了关于人脸识别研究的一些论文[12]，但是当时的硬件和软件的环境特别差，研究受到很大的限制，当时的算法的应用范围也比较狭窄，因此当时这项技术的发展也比较缓慢。直到1980年开始，计算机的性能开始快速发展，人脸识别研究的环境越来越好，理论研究也有了较大的进展，这项技术也被逐渐地用于实际应用场景中。

在人脸检测方面，随着这方面需求的增多和工程技术方面的发展，大量的国内外学者涌入这一方面的研究当中并取得了一些较好的成绩。国外的哈弗大学、麻省理工大学，国内的清华、北大等知名高校都研究出了一些检测效果显著、效率很高的算法。目前来说，人脸检测技术通常分为基于先验知识以及基于统计学这两种方案[13]。前者是以我们人类最直观的感受作为参考，也就是根据人脸的五官的结构、位置、形状、数量作为参考依据来判断是否为人脸。1994年，G.Yang等人根据人脸位置的分布，用多个检测窗口来检测判断是否为人脸，提出了一种复杂背景的人脸检测算法[14]，取得了一些成果。1997年，Kotropoulos等人基于人脸先验知识和人脸五官的灰度积分投影进行比对，提出了一种人脸检测算法，取得了较好的效果[15]。2001年，艾海舟等人通过基于人脸特征创建一个人脸的模版，并设定一个阈值，通过比较需要判断的人脸图像区域与该模版的相似度[16-17]，如果相似度在设定的阈值之上，则说明待检测人脸图像区域存在该人脸，这个人脸模版的标准是基于人脸特征并融合了肤色特征的，检测的效率和精确度都较好[18]。在模版匹配方面，Miao等人将图像旋转，利用Laplace算子对该图像进行边缘检测，将边缘检测后提取的特征信息进行合成，最终得到一个人脸的模板，然后采用层级的方法进行检测并判断是否存在该人脸[19-20]。这种方案虽然比较直观，但是人脸毕竟是一种非刚性的物体，人脸经常会作出各种表情，图像的采集也会遇到遮挡、光照等因素的干扰，而这种方法对表情、光照等干扰因素的鲁棒性较差。1996年John F提出的Canny算子[21]，1970年Irwin提出的Sobel算子[22]等就是为了一定程度上解决光照的干扰和影响，但是对于人脸识别精准要求较高的实际应用场合，这种方案显然还是不太适合的。相比于直观、容易理解的基于先验知识的方法，基于统计学的检测方法更加的先进、准确率更髙。对于统计学来说，首先需要解决的问题就是统计大量的人脸和非人脸的数据信息的问题，然后根据这类统计的数据信息，设计出二分类器来判断是否为人脸，输入待检测的图像，输出结果为是否为人脸的布尔值。设计人脸分类器的过程较为复杂，必须要不断的调整各种参数来提高分类器的准确率和适应当前的应用场合，最终得到一个最优的分类器。2001年，Viola等人就提出了一种基于Adaboost的人脸检测算法[23--24]，它首先使用Haar-Like特征来表示人脸，通过积分图计算，利用Adaboost算法筛选出待检测图像的Haar特征，训练得到弱分类器，将分类出错的数据和新样本数据进行混合，在这个混合样本下训练得到新的弱分类器，再通过加权的方案将这些弱分类器构成一个强分类器，最终将这些训练得到的强分类器串联起来组合成一个级联分类器，这个级联分类器即为最终的分类器。

在人脸识别算法中，人脸图像数据常用矩阵来表示，原始人脸图像维数非常高，直接用来分类识别的效率很低，所以需要对图像进行特征提取的操作。图像特征提取又分为基于几何特征[25]和基于统计学两种方案，而基于统计学的特征提取方案又分为线性和非线性两种[26]。和人脸检测的思想有些相似，基于几何特征的方案主要根据脸部器官的相对位置和表情来提取特征，这种方式的特点也和人脸检测中先验知识的特点有些类似，效率高但是对光照、表情等干扰问题的鲁棒性不好，因此效果并不是很好。而基于统计学特征的方案则有很多经典的算法。Kirby等人最早把PCA方法用于人脸识别应用中[27-28]，PCA是一种基于Karhunen-Loeve(K-L)变换的方法，它的基本原理是利用离散K-L变换的方法把原始数据在一个新的空间上进行表示，该新的空间相对于原始空间，除去了相关的数据，剩下的都是一些线性无关的向量数据，然后根据所需降到一定的维数，这样的操作最终得到的是比较大的特征值所对应的特征向量，从而达到降维、简化模型、压缩数据的效果，消除原始图像上相关信息的同时保留了大部分的特征信息。线性判别的方案里面除了PCA方法以外比较流行的还有FisherFace（LDA）方法，该方法通过选择一个向量让Fisher准则函数这到它的极值，以此来作为投影的方向，这样样本即可在这个方向上达到最大类间离散度和最小类内离散度[29-30]。理论上来说，相比PCA，LDA更加适合处理这种分类问题。而在高阶的情况下，无论是PCA还是LDA都不是很适合作特征提取，Bartlett等人提出将ICA应用到人脸识别领域的研究上[31]，将整个图像看成多个图像的叠加，并通过大量的实验证明了这种方案效果比PCA好[32-33]。非线性方法中，流行学习的方法出现于90年代，2000年Roweis和Tenenbaum等分别在著名的《Science》上发表了关于局部线性嵌入（LLE）以及等距映射（IOSMAP）的论文[34-35]造成了较大的影响。2003年，Bekin基于谱理论发表了关于拉普拉斯特征映射（LE）[36]的论文，该论文正是针对LLE的一些缺陷，例如对噪声敏感。He等人提出了LPP[37-38]的概念对LE进行了线性化推广并进一步改进得到近邻保持嵌入[39]。

图像特征提取完成后，就需要制作分类器对这些图像特征进行分类识别，分类器作为人脸识别算法的最后一个环节，即充当着＂决策者＂的角色，分类器的制作显然至关重要。在人脸分类识别方面，目前最常用的分类器有KNN、BP神经网络、SVM、随机森林等。KNN最早是由Cover和Hart在1967年提出来的一种非参数方法[40]，该算法是一种便于理解、效果十分显著的机器学习算法，KNN算法就是根据一定的规则计算每个测试数据的距离，将距离测试数据的最近的Ｋ个数据中出现类别个数最多的那个类别视为分类类别。测试过程以待测数据为中心，往外扩散，直到包含的样本个数达到Ｋ个，其中训练样本和测试样本之间的距离通常情况下使用Euclidean距离来表示。KNN算法比较直观容易实现，但是需要通过不停计算特定的距离来搜索到最近的K个训练样本，所以导致计算量很大，效率较差。神经网络是近几年来最活跃的机器学习算法之一，在上世纪50年代末就已经有人提出了神经网络的概念，因为其局限性，直到BP神经网络的提出，神经网络才正式实现了应用价值[41]。神经网络为了更加精确的模拟人脑，往往需要构造许多个隐含层。2006年左右，Geoffery Hinton等在《Science》发表了关于深度神经网络（DeepBeliefNetworks，简称DBNs）的论文；这篇论文对深度学习的理论研究产生了巨大的影响，关于深度学习的研究开始越来越热[42-43]，深度学习是基于深度神经网络提出的算法，Hinton的论文中，受到了限波尔兹曼机中引出概念的影响，深度学习需要大量数据的支持，而在这个互联网大数据时代，大公司里最不缺少的就是数据量，强大复杂的深度模型能深刻揭示出海量数据里所承载的丰富的信息。当前，谷歌、微软、阿里、百度等世界顶尖互联网公司在这方面的研究上都投入巨大的资源，百度为此创办了深度学习研究院，邀请斯坦福大学的吴恩达教授作为研究院的首席科学家。不过在本文人脸身份认证的分类识别场景中，人脸图像的数量还是比较有限的，对比于其他计算量较大，需要数据量较大的人脸识别方法，支持向量机算法（SVM）这种适用于小规模数据的分类器还是比较有实用价值的。支持向量机算法（SVM）最早是在1995年由Vapnik提出来的[44]，当时在学术界引发了不小的轰动。支持向量机算法（SVM）集合了多项技术和概念，如最大间隔的最优超平面、凸二次规划、核函数、松弛变量等，适用的场景也比较多，且表现都比较好，经常被学者们作为人脸识别的分类器。1997年，Osuna等人发表了关于一种关于分解算法的论文，且将该算法成功应用到了人脸检测中[45]，Joachims在此基础上提取了一种SVMLight的算法优化了Osuna的分解算法[46]，1998年，Platt提出了序贯最小化优化算法[47-48]。1999年，Suykens等人提出了一种最小二乘支持向量机算法，用来改进变量和系数等方面，把标准的支持向量机线性不等式的约束转换成等式约束以此来将训练转换为求解方程组[49]，这种方案使得支持向量机算法（SVM）更加广泛的运用到了各种工程技术中[50-51]。

国内外也有不少AI公司提供了各个平台下的人脸识别服务。例如Face++、百度、科大讯飞、汉王云等公司官网上都提供了相关的API。Facebook、QQ这些社交网络平台也都有人脸检测和识别功能的服务，用来帮助用户找到可能认识的人。而对于Android开发者本身的SDK中，Google也提供了人脸检测的API，小米手机、华为手机的部分机型均集成了人脸检测功能。

## 1.3 本文主要研究内容与组织结构

1.3.1 本文主要研究内容

本文主要研究了人脸检测和人脸识别的算法，以及算法在Android平台下的具体实现。

对原始图像预处理算法进行了介绍和研究，通过图像预处理算法使得原始图像的轮廓更加清晰分明，对比度更强。首先对原始图像进行灰度归一化处理，为了减少光照和其他因素对图像带来的影响，对灰度化后的图像还要进行直方图均衡化处理，直方图均衡化处理后，图像会更加清晰柔和，最后介绍了几种图像滤波的方案来减弱噪声。

对人脸检测算法的概念进行了介绍，通过设计人脸检测分类器的角度来介绍了Adaboost算法。由提取的Haar特征训练弱分类器，由多个弱分类器构成强分类器，通过多个强分类器构成级联分类器，并且针对上一次的错误调整参数，最终得到人脸检测分类器。

对特征提取算法进行了介绍，对人脸区域进行特征提取，可以有效的降低人脸图像的维数，提取出人脸关键特征信息，从而提髙下一步分类器分类识别的效率和准确率。这里重点介绍了基于PCA的特征提取算法，对K-L变换的原理做了简单的介绍，并详细描述了PCA特征提取的几个过程。

对人脸识别的概念和分类算法进行了介绍，重点介绍了常见的几种机器学习分类器算法的概念和原理。重点研究了KNN分类器算法和支持向量机分类器算法。通过分析人脸身份认证系统的使用场景和尽可能提高人脸识别准确率，提出了基于最近邻算法（KNN）和支持向量机算法（SVM）相结合的分类器算法。经过在一些公共数据集上的测试，这种相结合分类器算法比单独使用最近邻算法或支持向量机算法在人脸识别上具有更高的准确率和性能优势。

顺序介绍了本文整个人脸身份认证系统开发中所用到的的几项技术：Android开发核心技术、OpenCV函数库、JNI技术、NDK。然后分析了整个系统的功能、架构、实现和测试。

1.3.2 本文组织结构

本文的组织结构安排如下：

第１章绪论。综述人脸检测和识别技术的研究背景与意义，国内外研究现状，包括人脸检测技术研究现状、特征提取技术研究现状、人脸识别技术研究现状、Android平台下的人脸识别API实际应用情况。

第２章图像预处理。介绍了图像灰度化的几种方法和优缺点；对直方图的均衡化方法和原理进行了详细的介绍，并说明该操作能够一定程度上解决人脸图像识别过程中的的光照问题：对图像滤波的几种方式进行了介绍，并分析了优缺点。

第３章人脸检测与特征提取。本章主要介绍了人脸分类识别前的两部分内容。首先详细的说明了人脸检测概念，并从Haar特征、弱分类器、强分类器、级联分类器几个方面详细阐述了基于Adaboost的人脸检测算法的具体过程，然后介绍了人脸特征提取的概念，并由K-L变换引出PCA算法，介绍了PCA提取人脸特征的具体过程。

第４章人脸分类识别。本章首先论述常用的几个人脸分类器。重点介绍了KNN分类器算法和支持向量机分类器算法，并结合本系统提出了一种基于最近邻算法和支持向量机算法相结合的分类器算法。

第５章Android人脸识别身份认证系统的实现。本章首先论述Android客户端应用开发所用到的一些核心技术，包括Android开发者应用组件、JNI技术、OpenCV函数库、NDK；分析了系统的功能、架构、编写实现，并且展示了测试结果。

第６章总结与展望。总结了全文的工作内容，对基于Android平台的人脸识别身份认证系统的下一步研究给予展望。



# 2人脸图像预处理

人脸图像预处理环节是整个身份认证系统的第一个环节，也是比较重要的一个环节。由于在拍照的时候，经常会遇到各种光照、角度、阴影、距离和摄像机质量差异的影响，同样的图像拍摄出来可能差异较大，所以在对图像进行人脸检测和识别之前，必须要对图像进行前期的处理。本节中介绍了三种图像预处理操作，分别是灰度归一化，直方图均衡化，图像滤波。

## 2.1 灰度归一化

灰度归一化是一种经典的图像处理算法，其目的在于增强图像对比度，使图像的关键部分更清晰，让不同成像条件（光照强度，方向，距离，姿势等）下拍摄的同一个人的图像保持一致。灰度归一化算法分为两步，首先是将图像灰度化，即去除彩色信息，只保留灰度信息。转换后的灰度图与之前原始图像描述一致，不会损失一些主要轮廓信息。第二步是归一化。归一化将灰度值的变化范围缩放到0~1之间，便于后续环节计算。

颜色空间描述了颜色相关信息的编码，它的种类有很多，本小节主要介绍两种，RGB和HSV。

2.1.1 RGB颜色空间

[RGB色彩模式](https://baike.baidu.com/item/RGB%E8%89%B2%E5%BD%A9%E6%A8%A1%E5%BC%8F)是工业界的一种颜色标准，是通过对红(R)、绿(G)、蓝(B)三个颜色[通道](https://baike.baidu.com/item/%E9%80%9A%E9%81%93)的变化以及它们相互之间的叠加来得到各式各样的颜色的，RGB即是代表红、绿、蓝三个通道的颜色，这个标准几乎包括了人类视力所能感知的所有颜色，是目前运用最广的[颜色系统](https://baike.baidu.com/item/%E9%A2%9C%E8%89%B2%E7%B3%BB%E7%BB%9F)之一。红、绿、蓝这三个通道每种色各分为255阶亮度，值取0的时候该通道亮度最低，取255的时候亮度最高，红绿蓝三种通道混合后可以取到1600多万种颜色。

将一个像素点的R、G、B三个分量值按照一定的规则计算即可得到该点的灰度值，不同的规则下得到的灰度值不同。其中较为常用的计算方法有平均值计算法，即取三个分量的均值为该点的灰度值。该算法简单易懂，但是这种计算方法忽视了这三个分量互相独立的特点，导致转换过来的灰度图效果不好。另一种较常用的计算方法为加权平均值法，即将三个分量分别乘以一个权值，再求均值作为给点的灰度值。该算法可以通过修改权值来更好的适应分量的特点。本文经过综合考虑，采用第二种算法。

式 (2.1)

式 (2.2)

加权平均法根据应用场景不同取值也不同，通常的取值比例有(3,4,2)，(3,6,1)，(4,8,1)，本文取比例(3,6,1)。

****

图2.1 原图（左）与转换后的图（右）****

2.1.2 HSV颜色空间

HSV(Hue, Saturation, Value)是根据颜色的直观特性由A. R. Smith在1978年创建的一种颜色空间, 也称六角锥体模型(Hexcone Model)。该模型中颜色参数分别是：色调（H），饱和度（S），明度（V）。色调H用角度度量，取值范围为0°～360°，从红色开始按逆时针方向计算，红色为0°，绿色为120°,蓝色为240°。它们的补色是：黄色为60°，青色为180°,品红为300°；饱和度S表示颜色接近光谱色的程度，取值范围为0%～100%，值越大，颜色越饱和。明度表示颜色明亮的程度，取值范围为0%～100%，值越大，颜色越亮。从RGB颜色空间转换成HSV颜色空间的公式如下：

其中max表示R、G、B三者值中的最大者，min表示R、G、B三者值中的最小者。

式 (2.3)

式 (2.4)

式 (2.5)

为了采用式2.1、2.2对HSV进行灰度化，需要将HSV转化为RGB：

式 (2.6)

## **2.2 直方图均衡化**

直方图均衡化是一种常用的增强图像对比度的算法，其基本思想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，使图像更加清晰。 经过直方图均衡化处理，可以使得拍摄到的人脸图像的灰度级分布均匀，增强了图像中明暗区域的对比度，进一步减少因光照、阴影等干扰给后续环节带来的影响。

直方图均衡化的变换函数如下：

式 (2.7)

其中，ｒ表示被増强图像的灰度，经过灰度归一化的处理后，r的最大值为1，最小值为0. S表示变换之后的灰度值。P(r)表示概率密度函数，必须需要满足以下条件：

(1) 当时，Ｔ(r)的单调递増，且。

(2) 反变换；也单调递増，并且。

对于灰度图分布离散的情况，需要求出各灰度值的概率之和。计算公式如下：

式 (2.8)

N为这幅图的像素之和，L为级别的个数， K为该级别出现的概率。

该步骤实验过程：

(1) 统计输入的每个灰度级像素数目，其中i=0,1,2,…,L-1，Ｌ表示灰度级的总数目；

(2) 计算各个灰度级的概率密度，公式如下：

式 (2.9)

(3) 计算累积分布函数：

式 (2.10)

(4) 最后的输出灰度级进行计算；

式 (2.11)

(5) 通过图像灰度级函数和的映射关系，修改灰度级的分布，最后得到直方图均衡化后的图像，效果如图2.2所示。



图2.2 直方图均衡化后的图

**2.3 图像滤波**

对图像进行滤波可以进一步减少图像的噪声。本节介绍了空间域上的滤波和频域上的滤波。

2.3.1 空间域

(1) 均值滤波

均值滤波器是典型的线性滤波算法，其采用的主要方法为邻域平均法。线性滤波的基本原理是用均值代替原图像中的各个像素值，即对待处理的当前像素点，选择一个模板，该模板由其近邻的若干像素组成，求模板中所有像素的均值，再把该均值赋予当前像素点，作为处理后图像在该点上的灰度。具体计算公式如下：

式 (2.12)

其中，，S为(x,y) 点领域中不包括(x,y)点的坐标的集合，Ｍ为集合中坐标点的总数。



图2.3 4点邻域图（左）与8点邻域图（右）

图2.3表示领域选取最常用的两种方式：４点和８点。领域的点数越大，图像的模糊度也会越大。

(2) 中值滤波器

相比均值滤波，中值滤波是一种非线性滤波算法，更适合处理图像中的孤立噪声。其基本原理是把图像中一点的值用该点的一个邻域中各点值的中值代替，让周围的[像素](https://baike.baidu.com/item/%E5%83%8F%E7%B4%A0)值接近的真实值，从而消除孤立的噪声点。本文选用中值滤波的方式。

中值滤波的计算公式如下：

式 (2.13)

其中，f(x,y)，g(x,y)分别为原始图像和处理后图像。W为二维模板。效果如下：

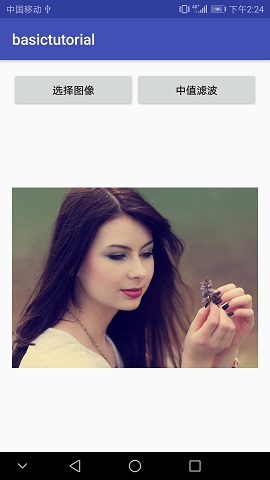


图2.4 中值滤波后的图

2.3.2 频域

频域是描述信号在频率方面特性时用到的一种坐标系。对于图像来说，一般都会存在一些高频的分量，要消除这些高频分量，就需要通过低通滤波器。

1. 理想低通滤波器

传递函数H(u,v)的计算公式如下；

式 (2.14)

其中，是理想情况下的截止频率。

1. 指数型低通滤波器

它的传递函数H(u,v)为:

式 (2.16)

其中是理想情况下的截止频率，ｎ为阶数。

1. 梯形低通滤波器

它的传递函数H(u,v)为：

式 (2.17)

其中是理想情况下的截止频率，为预先设定值，。

**2.4** 本章小结

本章节从三个主要的方面介绍了图像预处理的过程。首先，对采集的图像进行灰度归一化的操作，增强图像对比度，使图像的关键部分更清晰，让不同成像条件下拍摄的同一个人的图像保持一致，归一化后的灰度值保持在0到1之间，便于后续计算。然后，对于灰度后的图像进行了直方图均衡化的操作，其作用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，使图像更加清晰。最后一步预处理工作是对图像进行滤波操作，主要分为空间域上的滤波和频域上的滤波。空间域分为均值滤波和中值滤波两种方式，其中中值滤波更利于消除鼓励噪点，本文选用了中值滤波的方式。频域上主要是通过制作低通滤波器的方式消除高频噪点。

# 3人脸检测与识别算法

经过第二章的图像预处理操作后，下一步就是人脸检测环节，其目的是检测预处理后的图像中是否存在人脸信息，如果存在，就将其提取出来。在实际使用手机拍照的时候，由于拍摄距离，角度以及环境等因素，拍摄图像经常会携带一些非人脸的图像，直接进行人脸识别难度太大，必须先进行人脸检测来提取图像中人脸的主要区域，将非人脸的图像剔除。所以人脸检测环节是图像预处理与人脸识别之间的一个重要环节，该环节检测的准确率直接影响后续环节人脸识别的效率和准确率。

3.1人脸检测算法

Adaboost是一种迭代算法，其核心思想是针对同一个训练集训练不同的弱分类器，然后把这些弱分类器集合起来，构成一个分类效果更强的强分类器。其算法本身是通过改变数据分布来实现的，它根据每次训练集之中每个样本的分类是否正确，以及上次的总体分类的准确率，来确定每个样本的权值。将修改过权值的新数据集送给下层[分类器](https://baike.baidu.com/item/%E5%88%86%E7%B1%BB%E5%99%A8)进行训练，最后将每次训练得到的分类器最后融合起来，作为最后的决策分类器。使用Adaboost分类器可以排除一些不必要的训练数据特征，并放在关键的训练数据上面。目前Adaboost算法被广泛应用在人脸检测算法上。

基于Adaboost的人脸检测算法实现步骤如下：

(1)使用Harr-like特征表示人脸，使用“ 积分图”实现特征数值的快速计算;

(2)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;

(3) 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，级联结构能有效地提高分类器的检测速度。

3.1.1 Haar特征

Haar特征就是矩形特征。各矩形特征如图3.1：矩形特征对一些简单的图形结构，比如边缘、线段，比较敏感，但是其只能描述特定走向（水平、垂直、对角）的结构，因此比较粗略。如图3.2，脸部一些特征能够由矩形特征简单地描绘，例如，通常，眼睛要比脸颊颜色更深；鼻梁两侧要比鼻梁颜色要深；嘴巴要比周围颜色更深。

对于一个24\*24检测器来说，其内的矩形特征数量超过 160,000 个，必须通过特定算法甄选合适的矩形特征，并将其组合成强分类器才能检测人脸。



图3.1常见矩形特征

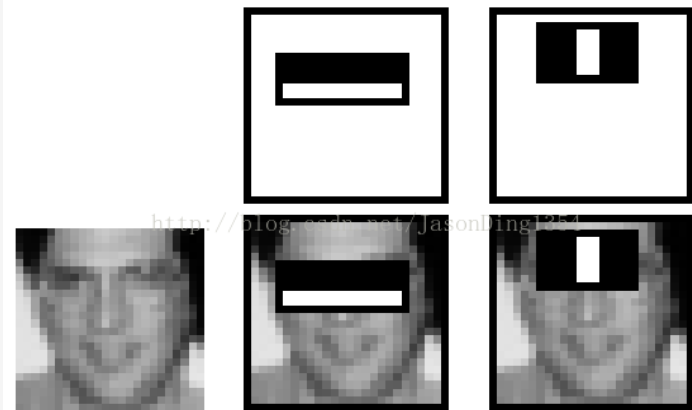


图3.2矩形特征在人脸上的特征匹配

3.2.2 积分图

积分图是Haar特征值计算常用的一种方案，类似动态规划，主要的思想是将图像从起点开始到各个点所形成的矩形区域像素之存在数组中，当要计算某个区域的像素和时可以直接从数组中索引，不需要重新计算这个区域的像素和，从而加快了计算。

积分图每一点的值，等于图像的每一点(x,y)的像素值的左方和上方像素的总和，即：

式 (3.1)

其中式子中的表示图像的积分图，表示图像的像素图。



图3.3初始图及其积分图****



图3.4区域像素值计算****

根据图3.4所示，积分图的计算方法为：

=区域 A 的像素值

=区域 A 的像素值+区域 B 的像素值

=区域 A 的像素值+区域 C 的像素值

=区域 A 的像素值+区域 B 的像素值+区域 C 的像素值+区域 D 的像素值

通过以上的推导可知，只需要通过Haar积分图以及区域端点的和差运算就可求出Haar的值，这也是该算法检测效率高的原因。

3.1.3 分类器

AdaBoost训练级联分类器的过程主要分为三步。一、计算训练样本的Haar特征，并将其训练成弱分类器；二、将这些弱分类器组合起来，可以得到一个强分类器，该强分类器的分类结果是由组合成该强分类器的所有弱分类器投票加权求和得来的；三、将多个强分类器组合起来就得到一个级联分类器，下一个强分类器将通过上一个强分类器的人脸图像再次检测，大大提高了检测的准确率。



图3.5级联分类器的检测流程图****

如图3.5所示，Adaboost级联分类器的设计是由多个强分类器组成，这些分类器一级比一级严格。前一级可以将明显没有人脸特征的窗口排除，后一级则是将上一级分类错误的为人脸排除，所有控制好这些强分类器的检测权重是一个重点和难点。



图3.6训练与检测图****



图3.7检测效果图

3.2人脸特征提取

经过人脸检测获取到人脸主要区域后，下一步就是人脸特征提取。人脸特征提取主要是提取人脸主要特征，降低人脸特征复杂度，提高下一步人脸识别操作的运算量，提高识别效率。基于知识的特征提取和基于统计的特征提取是两种的主要方案。其中基于知识的特征提取比较直观，它提取的是一个人们可以理解的物体，例如眼睛、眉毛、嘴巴等。基于统计的特征提取提取的是图像中抽象的特征，常见方法有PCA、LDA、ICA等。本文中整个系统使用的是基于PCA的特征提取。在这里，我们首先要介绍下K-L变换。

3.2.1 K-L变换

K-L变换又被称为主成分变换，优点是去相关性好，是[均方误差](https://baike.baidu.com/item/%E5%9D%87%E6%96%B9%E8%AF%AF%E5%B7%AE)意义下的最佳变换，是一种比较常用的数据压缩方法。

假定Ｘ为ｎ维矢量集合，其中矢量个数为Ｎ，那么为：

式 (3.5)

其中为均值，表示X中的第i个矢量。第ｉ个矢量与的差值可以表示为：

式 (3.6)

计算协方差矩阵P：

式 (3.7)

P为N阶实对称矩阵，其对角元素为的方差，其他元素则为和的协方差。求出协方差矩阵后，计算P正交化后的特征向量S，使得式(3.8)成立

式 (3.8)

则K-L变换就是将原本的矢量集X经过式(3.9)变换成一个新的矢量集Y。

式 (3.9)

其中，矢量集Ｙ的每一个向量是不相关的。由此可以得出，K-L变换，将原有数据从原有空间变换到了一个新的空间，消除了原有数据之间的相关性。

3.2.2 PCA提取特征过程

本节介绍的PCA主要是通过K-L变换来将人脸图像从原有空间变换到一个新的空间，消除原有数据之间的相关性，得到一个线性无关的特征向量，每个特征向量对应一个特征值。这样，在降低了人脸图像特征维数的同时，还能表示人脸图像主要特征。

PCA特征提取的一般过程如下：

1. 将训练样本数据用矩阵表示并进行均值归一化
2. 计算协方差矩阵并进行奇异值分解
3. 选取最大的前K个特征值对应的特征向量
4. 输出降维的投影特征矩阵并获得降维后的特征

图3.8各维数下的重构效果图(左边p=50,中间p=100,右边p=150)

3.3 人脸识别算法

获取到降维的人脸特征后，最后一步就是设计一个人脸识别分类器对降维后的人脸特征进行识别分类，最终达到人脸身份认证的效果。分类器的设计是整个系统中最后一个也是最重要的一个部分，直接决定着系统准确率的高低。

目前主流的人脸识别算法可以归结为基于几何特征、基于统计这两种方法。基于几何特征的方法是最早出现、比较传统的方法，是根据人眼睛、鼻子、嘴巴、下巴等这些部件的形状和结构关系的几何描述作为识别的特征，但是这种方法存在一个问题，一般几何特征只描述了部件的基本形状与结构关系，忽略了局部细微特征，在人脸识别的准确率上达不到要求，运算量也比较大。基于统计的人脸识别算法主要有最近邻算法、神经网络算法和支持向量机算法等，这一类算法的准确度较高，但是需要一定数量样本的支持。最近邻算法的核心思想是如果一个样本在特征空间中的k个最相邻的样本中的大多数属于某一个类别，则该样本也属于这个类别，并具有这个类别上样本的特性，该算法原理简单易懂，计算速度较快，识别无表情变化的人脸图像时准确率较高。但是一般情况下，拍摄的人脸都会有一些表情的变化，面对这种情况，最近邻算法得不出很好的效果。神经网络算法的优势就是在于可以通过学习，获得人脸图像抽象特征，避免进行复杂的特征提取，有利于软件的实现。同时神经网络有个很大的缺点，该算法不易解释，表达抽象特征需要的网络层多，导致神经元数量多，运算时间长。支持向量机算法在解决小样本、非线性及[高维](https://baike.baidu.com/item/%E9%AB%98%E7%BB%B4)模式识别中表现出许多特有的优势，本文中设计的分类器也利用到该分类器算法。

此外，本文设计的基于人脸识别的身份认证系统并不是类似于考勤机的人脸识别系统，而是针对手机持有者身份验证的人脸识别，是一个人脸确认的过程。因为手机持有者只有一个，所以所要做的工作只是确认摄像头拍的人脸是不是手机持有者，在本质上是一个二分类问题。而支持向量机算法优势在于对问题进行二分类，因此本文选用最近邻分类器和支持向量机分类器相结合的分类器作为最终分类器，并且通过测试验证其有效性。

3.3.1 最近邻算法

最近邻算法是一种常用的监督学习方法，其工作机制非常简单：给定测试样本，基于某种距离度量找出训练集中与其最靠近的k个训练样本，然后基于这k个样本的信息来进行预测。通常，在分类任务中可使用偷票房，即选择这k个样本中出现最多的类别标记作为预测结果；在回归任务中可使用平均法，即将这k个样本的实值输出标记的平均值作为预测结果；还可基于距离远近进行加权平均或加权投票，距离越近的样本权重越大。

假如有C个类别，每类有个样本，则第i类的判别函数为：

式 (3.10)

其中，表示类的第k个样本。

假设是一个需要识别的特征向量，是某一个标准样本的特征向量，则表示Ｘ和Ｙ的距离有以下几种方式：

(1) 均方误差距离

式 (3.11)

(2) 欧氏距离

式 (3.12)

(3) 角度距离

式 (3.13)

(4)曼哈顿距离

式 (3.14)

3.3.2 支持向量机算法

由于手机性能的局限，无法对大量样本进行训练，并且人脸图像的复杂度较高。针对这种小样本、维数高的分类情况，支持向量机算法就是一种很好的解决方案。首先，支持向量机算法在解决样本小、维数高的分类上有这很大的优势；其次，人脸是非刚性的，特征拥有非线性的特点，支持向量机算法能够很好的处理非线性的分类。本文也采用了该算法。

(1) 线性可分情况下的最优分类面



图3.9线性可分情况示意图

如图3.9所示，分别用三角行和菱形表示不同的训练样本，H表示将不同类别的训练样本正确分开的分类线。最优分类线为正确分类前提下使分类间隔线之间距离最大的分类线。同样，再多维空间中，最优分类面为正确分类前提下使分类间隔面之间距离最大的分类面。

假设一个线性可分的样本集为。其中，为样本特征向量，Ｘ是ｄ维实数空间中的向量，类标签。

则分类面方程为：

式 (3.15)

其中，为权值向量，b是分类平面的常数项。当时，取+1，反之，取-1。对判断函数归一化，则：

式 (3.16)

如果数据点满足式(3.16)，则称为支持向量。通过计算可知，最优分类面的单位法向量为：

 式 (3.17)

设分别为平面H1和H2上的点，最大间隔Dist即是向量()在单位向量上的投影。即：

式 (3.18)

又因为分为别平面H1和H2上的点，所以有：

式 (3.19)

整理式得：

式 (3.20)

由以上公式可知：

= 式 (3.21)

有此可知,当最小时，间隔Dist最大。其约束条件为：

式 (3.22)

因此，求解最优分类面问题就被转换为求解二次函数最优规划问题，拉格朗日函数定义为：

= 式 (3.23)

其中表示拉格朗日乘子，函数两边求偏导得：

式 (3.24)

式 (3.25)

由以上两个公式，整理得：

式 (3.26)

约束条件为：

问题变成了拉格朗日对偶问题，可根据经典算法求解出，最后得到分类函数：

式 (3.27)

其中，sgn为符号函数，为支持向量，为阈值。

(2) 线性不可分情况下的最优分类面

因为人脸可以做出许多表情，所以一般提取的特征往往是非线性的。在这种情况下，上述介绍的求解方法会失效。此时可以通过在约束条件中引入松弛变量的方式求解。首先，调整约束条件为：

式 (3.28)



图3.10线性不可分情况示意图

(1) 当，对应着能够正确线性分类的样本。如图3.10所示在分类间隔线外侧的样本。

(2) 当0<<1，对应着没有被错误分类的样本，如图3.10中在分类间隔线之间的标号为1的样本。

(3) 当，对应允许可以被错误分类的样本，如图3.10中在分类线周围标号为3的样本。

引入代价系数Ｃ后，目标函数转变为：

式 (3.29)

其中，为目标函数，Ｃ为错误代价系数，所以求得拉格朗日函数为：

式(3.30)

经过公式变换，最终得到下面的对偶问题。

最大化L()：

() 式 (3.31)

约束条件为：

式 (3.32)

由式(3.32)可以看出线性可分与不可分的目标函数表达式完全相同，只是约束条件不同，在线性不可分情况下约束条件为0，所以线性可分可以看做线性不可分情况下的一种特例。

(3)核函数

核函数的思想为：通过非线性变换，将输入空间映射到高维特征空间。使其线性可分并且在该高维特征空间中寻找最优的分类面。通过加入核函数就将非线性问题转化为高维特征空间中的线性问题。

令,其中输入向量x表示N维的输入向量，在新空间中构建的分类超平面为：

式 (3.33)

其中的为权值系数，b为偏置或负阈值。令=1,=b,以上公式可以简化为

式 (3.34)

也可以表示为：

式 (3.35)

根据适合线性可分模式输入空间的式，将需要替换，得到：

式 (3.36)

将式（3.36）代入式（3.35）即可得出特征空间的分类超平面为：

  式 (3.37)

由式可得，仅使用内积即可构造出最优超平面。但同时需要一个函数Ｋ(x,)，使得构造超平面的时候避免考虑变换的形式。

 式 (3.38)

该函数被称为内积核函数。

这里得出核函数的定义：为连续的对称核，x与y在闭区间中。核函数可以展开为级数：

式 (3.39)

其中所有的>0,保证式一致收敛的充要条件是：

式 (3.40)

对于所有满足的成立。

常用的核函数可分为如下几类

(1)线性核函数

式 (3.41)

(2)多项式核函数

式 (3.42)

(3)径向基核函数

K(x,y)=exp(-) 式 (3.43)

其中，是由用户决定的核宽度。

基于以上概念，得出支持向量机算法步骤为：

假设训练样本其中，是ｄ维实数空间中的向量，类标签义。

步骤1：在约束条件

=0,0 式 (3.44)

下求解使目标函数：

() 式 (3.45)

最大化的。

步骤2：计算最优权值：

式 (3.46)

其中为输出向量。

步骤3：计算分类判别函数：

式 (3.47)

根据f(x)的值判定Ｘ的类别归属。

输出为f(x)的值

3.3.3 最近邻算法和支持向量机算法相结合的分类器算法

由上一小节可知，支持向量机分类器原理是基于统计的训练模型，如果要分类的人脸图像在数据库中不存在时，支持向量机分类器很难进行拒识判断。而且由于手机性能的限制，无法训练大量的人脸图像，只能选择一些代表性的人脸模型作为训练的负样本。同时为了提高速度和增加拒识判断，在使用支持向量机分类器之前使用最近邻分类器再进行一次分类。最近邻分类器计算速度快，效率高，虽然不能提高识别的准确率，但是却可以有效地降低，误识率，适用于本系统。

本节提出了一种将运算速度较快的最近邻分类器和识别率高的支持向量机分类器相结合的方式。该算法首先使用最近邻算法进行分类并设定阈值，如果得到的分类结果小于设定的阔值，则继续用支持向量机分类器进行再次分类，否则，则拒识。

3.3.4 实验结果与分析

为了验证上一节中提到的分类器的效果，本节中分别对最近邻分类器、支持向量机分类器和两者相结合的分类器做了测试。样本为美国防部高级研究项目署和美国陆军研究实验室共同建立的FERET人脸库，采用PCA特征提取方法，通过测试对比这几种分类器算法在分类识别过程中的准确率。

本文所采用的人脸库是FERET人脸库的一部分，包括10名志愿者的100幅人脸图像和一些测试图像。

每次训练选定同一个人的10张人脸图像作为正样本，其他的90张为负样本，共需要进行10次训练。每次训练完成后使用测试样本进行测试，结果取均值。测试结果见表3.1：

表3.1基于FERET子库的实验结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 最近邻算法 | 支持向量机算法 | 最近邻和支持向量机相结合算法 |
| 正确识别率 | 76.7% | 88.3% | 90.4% |
| 错误识别率  拒绝识别率  正确拒绝率 | 10.8%  23.3%  89.2% | 17.6%  11.7%  82.4% | 5.4%  9.6%  95.6% |

如表3.1所示，正确识别率表示测试样本是本人且被正确识别的情况；错误识别表示测试样本不是本人但却被识别的情况；拒绝识别表示测试样本是本人但却没有被识别的情况；正确拒绝表示测试样本不是本人并且没有被识别的情况。

从上述测试中可以得出结论，本文提出的将最近邻算法和支持向量机算法相结合后实现的分类器算法的正确识别率和正确拒绝率是最高的。

**3.4 本章小结**

本小节主要介绍了三部分内容，一是基于Adaboost的人脸检测算法；二是基于PCA的人脸特征提取算法；三是几种人脸识别的训练算法，通过分析，提出了一种最近邻与支持向量机相结合的人脸识别算法，并通过实验证明了该算法的可行性。

# 4 Android环境搭建和开发技术

**4.1 Android系统概述与优势**

Android是一种面向智能手机的基于Linux内核的操作系统，它最初由 Andy Rubin开发，Andy·Rubin开发这个系统的最初目的是为了创建一个智能的数码相机操作系统，但是当后来智能手机市场快速发展的时候，Android被改造为主要面向智能手机的操作系统。后来Android系统被 Google公司收购，成为 Google 旗下的一部分。在 2017 年 Google IO开发者大会上，Google 宣布目前全球[Android](http://android.ithome.com/)设备月活跃用户已经达到20亿。Android系统以 Linux 为内核，采用多级分层的架构，包括Linux kernel、Applications、Framework以及Libraries组成。由于Android系统强大的可移植性和Google公司开源的性质，Android系统理论上可以在任何电子产品上运行，这对以后产生更智能化的电子产品有着巨大的影响和推动作用。Android系统得到了众多手机硬件厂商的支持，移动终端市场占有率年年升高。

和其他操作系统相比，Android系统是开源的操作系统，拥有众多的开发者，更有着Google公司的支持。Android系统拥有完整的开发生态，从底层运行到应用程序的开发和发布都有着强大的监管措施，极大地推动了移动产业的发展。因为Android系统的开放性和开源性允许任何移动设备制造厂商加入，对于众多的开发者来说，有着大量的资源可以利用。对于用户来说，不仅可以用到全世界的优秀开发者开发的应用程序，还可以用众多开放的源代码进行二次开发。开放的平台会带来了良性的竞争，能更好的服务用户，让用户们能够用到更优质的产品。

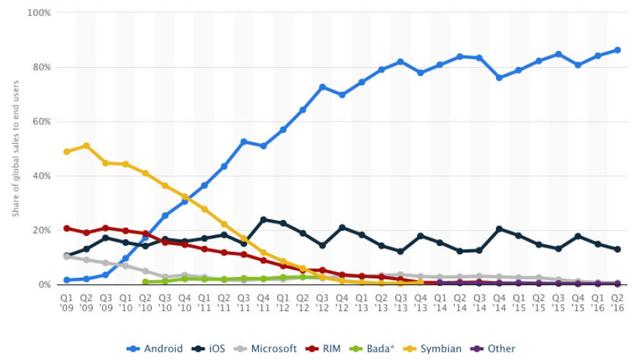


图4.1 智能手机系统市场份额占比

Google公司为Android开发者提供了一个自由的开发平台，去除各种限制，激励应用开发者的创新。Android系统中所有应用程序均运行Java虚拟机上，该虚拟机分配给应用程序需要的硬件资源和通信接口，不同应用程序之间的信息可以通过一定的方式共享。Android平台提供的SDK使得开发者能够更好的和硬件结合，大大缩短了开发周期。

## **4.2 Android应用组件**

应用组件是 Android 应用的基本构建基块。Android共有四种不同的应用组件类型，每种组件都服务于不同的目的，并且具有定义组件的创建和销毁方式的不同生命周期。这四种组件分别是：Activity活动，Service服务，BroadcastReceiver广播，ContentProvider内容提供者。

4.2.1 Activity活动

Activity 是一个重要的应用组件，相当于一个窗口，用户可与其提供的窗口进行交互，来执行打电话、发短信、发电子邮件等操作。 创建一个 Activity 就会获得一个窗口。窗口可以被设置为充满屏幕或是以弹窗的形式出现。

生命周期描述的是该Activity被创建可见到不可见直至被销毁的过程，在这个过程中，Activity一般以四种状态存在。运行状态：一个新的Activity创建后，位于屏幕的最前端，处于可见并可以和用户交互。这种状态下Android会尽最大可能保持该Activity运行，当内存不足时，会优先杀掉其它Activity来释放内存。暂停状态：当Activity处于此状态时,此时它依然与窗口管理器保持连接,系统继续维护其内部状态，但是它已经失去焦点，不可与用户交互。停止状态：当Activity 不可见时会处于这个状态，当这个状态触发时，一定要保存好当前的数据和UI状态，否则会丢失数据。死亡状态：当Activity被杀掉以后就处于死亡状态，这时Activity已从堆栈中移除。Activity生命周期流程如图4.2。

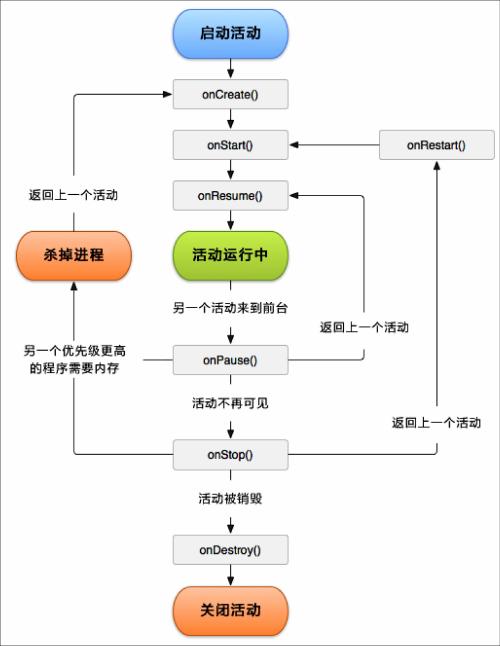


图4.2 Activity的生命周期

4.2.2 Service服务

[Service](https://developer.android.google.cn/reference/android/app/Service.html) 是一个可以在后台执行长时间运行而不提供界面的应用组件。[Service](https://developer.android.google.cn/reference/android/app/Service.html) 可由其他应用组件启动，而且即使用户切换到其他应用，[Service](https://developer.android.google.cn/reference/android/app/Service.html) 仍将在后台继续运行。服务一般分为两种形式：一种是通过其它应用组件直接启动，这一种服务启动后与其它应用组件没有交互，并在后台一直运行，即使启动服务的组件已被销毁也不受影响；另一种是其他应用组件通过将自己绑定的方式启动服务，这种方式允许组件与服务进行交互、发送请求、获取结果，当启动服务的组件被销毁时该服务也被销毁。这两种Service的生命周期不同，流程如图4.3。

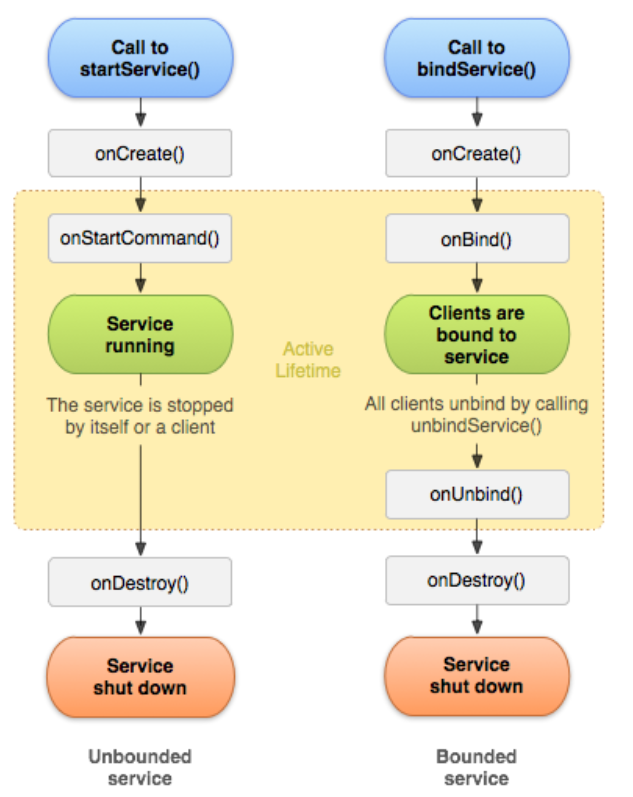


图4.3 Service的生命周期

## **4.3 Android开发准备**

4.3.1 JDK

Android开发首先要搭建java开发环境，JDK是 [Java](https://baike.baidu.com/item/Java/85979) 语言的[软件开发工具包](https://baike.baidu.com/item/%E8%BD%AF%E4%BB%B6%E5%BC%80%E5%8F%91%E5%B7%A5%E5%85%B7%E5%8C%85)，JDK是整个java开发的核心，它包含了JAVA的运行环境和JAVA调试工具。首先去官网上下载JDK，因为本人电脑是Windows10 64位系统，所以下载JDK-Windows-X64，下载完成后将JDK运行包按照默认路径安装。安装完JDK之后配置系统环境变量，如图4.4所示。



图4.4 Java环境变量配置

在我的电脑属性中找到环境变量配置选项，创建一个名称为JAVA\_HOME，值为JDK安装目录中bin文件夹绝对路径的系统变量。将该变量添加到PATH路径下。打开cmd终端，输入java –version命令测试，变量配置成功后如图4.5所示。



图4.5 Java环境测试

5.3.2 Android Studio

Android Studio是Google于2013 I/O大会针对Android开发推出的新的开发工具。比起Eclipse，速度更快，更加智能，整合了Gradle构建工具，内置终端，完美整合版本控制系统，使得越来越多的人倾向与使用Android Studio开发。这里便是使用Android Studio来开发整个系统。



图4.6Android Studio界面

5.3.3 JNI技术与Android NDK

JNI是Java Native Interface的缩写，是Java生态的一部分。它提供了若干的[API](https://baike.baidu.com/item/API/10154)实现了Java和其他语言的通信。由于图像处理过程中计算量较大，为了提高系统执行效率，在较短的时间内完成人脸检测和识别，本文中核心人脸识别算法都是基于C++语言进行开发的，然后再用Java语言调用C++层的方法，所以这里必须使用JNI技术。

NDK是Native Development Kit的缩写，是当开发者使用C语言等底层语言开发程序时，防止Android程序在JVM虚拟机中与JAVA语言冲突而开发的一套工具。NDK支持在Android应用加入C++语言开发。Android NDK提供了一系列交叉编译工具，这些工具被用来支持对调用本地代码的JNI接口。NDK中封装了一些底层的库函数供开发者使用。通过NDK，Android开发者将拥有更高的效率和灵活性。具体调用过程如图4.7所示。



图4.7 JNI调用流程图

5.3.4 OpenCV

OpenCV是一个开源的计算机视觉库，拥有超过2500种优化算法，其中包括一些经典的和最先进的图像处理和机器学习算法，这些算法可用于检测和识别人脸，识别物体，视频中的人的行为进行分类，跟踪摄像机运动，运动目标的跟踪，提取物体的三维模型等等。OpenCV目前被广泛的应用在公司、个人和高校的研究和开发中。

OpenCV主要包含下面几个模块：

(1)core模块：核心功能模块，定义了基本的数据结构和文件读写等操作。

(2)imgproc模块：图像处理模块，包括图像滤波、集合图像变换、直方图计算、形状描述子等

(3) highgui模块：高级图形界面，用来显示图像或视频到界面上，并提供了一些按钮和滑动条控件。

(4) video模块：视频分析模块。包括背景提取、光流跟踪、卡尔曼滤波等算法。

(5) objdetect模块：物体检测模块。包括haar分类器、SVM检测器及文字检测。

(6) ml模块：即机器学习模块。包括统计模型、K最近邻、支持向量机、决策树、神经网络等经典的机器学习算法。

本文所有的图像处理算法是基于OpenCV的基础上开发的。首先从OpenCV

官网下载源码，因为本文是基于Android平台开发的，所以我们选择OpenCVForAndroid这个版本。

## **4.4 本章小结**

本节首先概述了Android系统的发展历程以及基于Android平台开发的优势，

其次系统的介绍了Android系统开发的应用组件，最后介绍了Android开发需要做的准备工作，下一章将是整个系统的开发和测试。

# 5 基于Android平台的身份认证系统的设计与实现

## **5.1 系统功能分析**

根据之前的分析，将整个身份认证系统分为图像采集模块、图像预处理模块、⼈脸检测模块与⼈脸识别模块这四个模块。具体流程如图5.1。



图5.1 人脸识别身份认证系统流程图

图像采集模块：利⽤ Android 平台摄像头进⾏图像采集，实现调⽤摄像头、对拍摄的物体进⾏⾃动对焦、连续拍照等功能，快速获取图像帧的信息。

⼈脸图像预处理模块：对采集到的图像帧进⾏灰度归一化、直方图均衡化和滤波去噪等处理。  
 ⼈脸检测模块：经预处理的图像采⽤Adaboost ⼈脸检测⽅法获取⼈脸，并对裁剪出的⼈脸图像进⾏标记。  
 ⼈脸识别模块：根据测试者⼈脸图像计算⼈脸PCA 特征，得到识别结果。如果测试者的⼈脸特征在我们设置的阈值范围内，则确认测试人的身份为手机持有者，否则提示该人不是手机持有者，请摆正⼈脸重新识别。

**5.2 实验与结果分析**

首先需要对手机持有者进行注册，为了有更好的识别效果，需要拍摄10张手机持有者不同表情下的照片。将手机持有者10张图像作为正样本，选取其他同学的90张图像作为负样本进行训练。

随机选取一个同学进行拍照，从手机摄像头采集到图像后经过预处理，再到人脸检测，识别出人脸关键区域，将人脸关键区域提取特征之后与数据库里存的手机持有者的人脸信息进去对比，特征相似度超过一定的阈值即可判定该人脸是手机持有者本人。识别效果与部分代码如下：

代码5.1 人脸关键区域检测代码代码5-2 人脸识别代码

(a)正常表情下的测试 (b)微笑表情下的测试

(c)皱眉表情下测试 (d)其他同学测试

图5.2 身份认证测试结果

通过两种不同的智能手机来测试评估人脸检测和识别方法的准确性和可接受性。 在第一种情况下，测试是在拥有20万像素摄像头的华为Mate9 Android 7.0智能手机和麒麟 960 CPU上进行的。 在第二种情况下，测试是在具有1600万像素摄像头的小米5 Android 6.0智能手机和高通骁龙820CPU上进行的。

表5.1 在Huawei Mate9上的测试结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 图像尺寸 | 准确率 | 耗时 (ms) | 占用内存(MB) |
| 人脸检测 | 1280\*720 | 95% | 15 | 26 |
| 人脸识别 | 1280\*720 | 80% | 181 | 30 |

表5.2 在XiaoMi5上的测试结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 图像尺寸 | 准确率 | 耗时(ms) | 占用内存(MB) |
| 人脸检测 | 1280\*720 | 95% | 37 | 28 |
| 人脸识别 | 1280\*720 | 80% | 276 | 34 |

PC环境：ThinkPad S2

PC系统：Window 10 64位

开发软件：Android Studio

手机：HuaWei Mate9、XiaoMi5

**5.4 本章小结**

本章首先分析了整个系统的需求，并对这些需求进行了功能划分，共分为图像采集模块、图像预处理模块、⼈脸检测模块与⼈脸识别模块这四个模块。然后介绍了各模块的实现。最后分别在HuaWei Mate9和XiaoMi5手机上测试了实验结果。

# 6 总结与展望

## **6.1总结**

随着移动互联网与人工智能技术的发展，基于个人特征的生物识别技术代替传统的身份验证方式已经是大势所趋。而人脸识别是生物识别技术的一个重要组成部分，拥有其他生物识别技术没有的独特优势。因此移动手机端下人脸识别的研究具有十分重要和深远的意义。本文针对Android平台下基于人脸识别的身份验证系统主要做了如下工作。

一、分析了本文课题的研究背景及意义，综述人脸检测和识别技术的研究背景与意义，国内外研究现状，包括人脸检测技术研究现状、特征提取技术研究现状、人脸识别技术研究现状，介绍了人脸识别过程各个环节的研究现状及相关算法，引出本课题研究内容。

二、针对图像预处理介绍了三部分内容。首先，对采集的图像进行灰度归一化的操作，增强图像对比度，使图像的关键部分更清晰，让不同成像条件下拍摄的同一个人的图像保持一致。然后，对于灰度后的图像进行了直方图均衡化的操作，其作用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，使图像更加清晰。最后一步预处理工作是对图像进行滤波操作，消除噪点。

三、针对人脸检测与识别介绍了三部分内容，一是基于Adaboost的人脸检测算法；二是基于PCA的人脸特征提取算法；三是几种人脸识别的训练算法，通过分析，提出了一种最近邻与支持向量机相结合的人脸识别算法，并通过实验证明了该算法的可行性。

四、概述了Android系统的发展历程以及基于Android平台开发的优势，其次系统的介绍了Android系统开发的应用组件，最后介绍了Android开发需要做的准备工作。

五、分析了整个系统的需求，并对这些需求进行了功能划分，共分为图像采集模块、图像预处理模块、⼈脸检测模块与⼈脸识别模块这四个模块。然后介绍了各模块的实现。最后分别在HuaWei Mate9和XiaoMi5手机上测试了实验结果。

## **6.2 未来的展望**

展望未来，本文中还存在着许多不足的地方，本文的不足以及下一步工作主要有以下几个方面：

一、光照与阴影的干扰一直是人脸识别的难题，虽然本文通过灰度归一化和直方图均衡化两种算法对图像进行了预处理，但是效果不是特别理想。下一阶段可以尝试其他的预处理算法来进一步解决人脸图像的光照变化问题。

二、本文采用的用于的人脸样本比较少，对整个系统识别行能有一定的影响。下一步可以考虑从两个方面来解决这个问题。一是加大训练样本；二是寻找在小样本下人脸识别的优化技术。

# 

# 参考文献

[1] 郑展棒．生物识别渐成门禁控制发展潜力点[J]．中国公共安全（综合版），2014,(14):65~69.

[2] 满江月.[浅析人脸识别的现状与未来](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=ZGAF201515015&dbcode=CJFQ&dbname=CJFDTEMP&v=)[J].  中国安防. 2015(15)

[3] 叶雨露．微软收购诺基亚-手机王国敲响的警钟[J].现代经济技术，2014，(16):373~373.

[4] 尤波．诺基亚公司只能手机市场营销战略及实施策略研究[D]．山东：山东大学，2013．

[5] 姚昱旻,刘卫国. [Android的架构与应用开发研究](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=XTYY200811029&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2008&v=)[J].  计算机系统应用. 2008(11)

[6] 李瑛．专利视角下的智能手机竞争态势研究[D]．大连：大连理工大学，2013．

[7] 张婷,张辉极. [智能手机安全问题及防护技术分析](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=XXAQ201112022&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2011&v=)[J].  信息网络安全. 2011(12)

[8] 门汝宁. [4G手机快速发展 智能终端产业机遇和挑战并存](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SIDX201412013&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2014&v=)[J].世界电信. 2014(12).

[9] 王二伟．基于Android平台人脸检测与识别研究[D]．西安：西安电子科技大学，2013．

[10] Face Recognition Using Boosted Local Features. Jones M,Viola P. Technical Report MERL-TR-2003-25 . 2003

[11] [Face recognition in the presence of angry expressions: A target-race effect rather than a cross-race effect](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SJES15121200367513&dbcode=SJES)[J] . Jason D. Gwinn,Jamie Barden,Charles M. Judd.  Journal of Experimental Social Psychology . 2015

[12] [人脸识别中若干关键问题的研究](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=2006191353.nh&dbcode=CDFD&dbname=CDFD2007&v=)[D]. 山世光.中国科学院研究生院（计算技术研究所） 2004

[13] 祝秀萍,吴学毅,刘文峰. [人脸识别综述与展望](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=JISJ200804019&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2008&v=)[J].  计算机与信息技术. 2008(04)

[14] Deqiang Li,Xusheng Tang,Witold Pedrycz. [Face recognition using decimated redundant discrete wavelet transforms](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SSJD00003796544&dbcode=SSJD)[J] .  Machine Vision and Applications . 2012 (2)

[15] Haifeng Hu. [Variable lighting face recognition using discrete wavelet transform](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SJES13012300413479&dbcode=SJES)[J] . Pattern Recognition Letters . 2011 (13)

[16] 王宏漫,欧宗瑛. [采用PCA/ICA特征和SVM分类的人脸识别](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=JSJF200304007&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2003&v=)[J].  计算机辅助设计与图形学学报. 2003(04)

[17] 孙鑫,刘兵,刘本永.  [基于分块PCA的人脸识别](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=JSGG200527027&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2005&v=)[J]. 计算机工程与应用. 2005(27)

[18] 张九龙,夏春莉,张志禹,焦妍. [基于多尺度分析的人脸识别比较研究](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=WXJY201107017&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2011&v=)[J].  微型机与应用. 2011(07)

[19] W. Zhao,R. Chellappa,P. J. Phillips,A. [Face recognition](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SJCM13091000017620&dbcode=SJCM)[J] . Rosenfeld.  ACM Computing Surveys (CSUR) . 2003 (4)

[20] 苏宏涛. [基于统计特征的人脸识别技术研究](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=2005154774.nh&dbcode=CDFD&dbname=CDFD2006&v=)[D].西北工业大学 2004.

[21] Scharcanski J,Venetsanopoulos A N. Edge detection of color images using directional operators. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology . 1997

[22] 夏清,张振鑫,王婷婷,王亚云,石娟娟. [基于改进Sobel算子的红外图像边缘提取算法](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=JGHW201310017&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2013&v=)[J].  激光与红外. 2013(10)

[23] S.Shan,W.Gao,D.Zhao. Face Identification Based On Face-Specific Subspace. International Journal of Image and System Technology . 2003.

[24] 张建慧. [人脸检测与识别技术的研究](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=1011265725.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFD2011&v=)[D].重庆大学 2010

[25] Cheng Y Q,Liu K,Yang J Y,et al. Human face recognition method based on the statistical model of small sample size. Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering . 1991.

[26] 苏宏涛. [基于统计特征的人脸识别技术研究](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=2005154774.nh&dbcode=CDFD&dbname=CDFD2006&v=)[D].西北工业大学 2004.

[27] Kirby, M.,Sirovich, L. Application of the Karhunen-Loeve procedure for the characterization of human faces. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence . 1990．

[28] 郝红岩．基于局部对比模式的人脸识别方法研究[D]重庆：重庆邮电大学，2012．

[29] 谢永林. LDA算法及其在人脸识别中的应用[J]．计算机工程与应用，2010，46(9)：189~192．

[30] 汤鹏. [基于LDA的特征提取及其在人脸识别中的应用](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=1015953865.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFDTEMP&v=)[D].河北大学 2015.

[31] 葛微,程宇奇,刘春香,陈秋萍. [基于子空间分析的人脸识别方法研究](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=ZGGA200905002&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2009&v=)[J].  中国光学与应用光学. 2009(05)．

[32] 孙鑫,刘兵,刘本永. [基于分块PCA的人脸识别](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=JSGG200527027&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2005&v=)[J].  计算机工程与应用. 2005(27)

[33] T Mandla,Q WU. Face Recognition using Curvelet based on PCA.Pattern Recognition. ICPR,19th international conference . 2008

[34] 徐秀秀. [基于流形学习的人脸识别方法研究](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=1015429990.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFDTEMP&v=)[D].江南大学 2015.

[35] 白万荣. [人脸识别中基于流形学习的特征提取方法研究](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=1012411239.nh&dbcode=CMFD&dbname=CMFD2012&v=)[D].兰州理工大学 2012.

[36] Mikhail Belkin,Partha Niyogi. [Laplacian Eigenmaps for Dimensionality Reduction and Data Representation](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SJBK15090500012194&dbcode=SJBK)[J] .  Neural Computation . 2003 (6)

[37] He Xiaofe,Niyogi P. Locality preserving projections. Proc of the Conference on Neural Information Processing Systems . 2003.

[38] Zhang Jiu-long,Li Peng. Facial feature extraction by Curvelet and LDA. Joumal of Computational Information Systems . 2008.

[39] Khalid M Hosny. New set of rotationally legendre moment invariants. International Journal of Electrical and Electronics Engineering . 2010.

[40] Michael Collins,Robert E. Schapire,Yoram Singer. [Logistic Regression, AdaBoost and Bregman Distances](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SSJD00001340472&dbcode=SSJD)[J].  Machine Learning . 2002 (1).

[41] 李鹏,耿国华,周明全.  [一种基于神经网络和贝叶斯决策的人脸检测方法](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=JSYJ200708062&dbcode=CJFQ&dbname=cjfd2007&v=)[J].计算机应用研究. 2007(08).

[42] Simon H. Neural network and learning machines. 2011.

[43] Geoffrey E. Hinton,Simon Osindero,Yee-Whye Teh.  [A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SJBK15090500012538&dbcode=SJBK)[J] . Neural Computation . 2006 (7).

[44] VAPNIK V N. The Nature of Statiscal Learning Theory. 1995.

[45] Hinton G. Momentum. A practical guide to training restricted Boltzmann machines. 2010.

[46] Joachims T. Making large-scale support vector machine practical. Advances in Kernel Methods-Support Vector Learning . 1999.

[47] 王宏漫,欧宗瑛.[支持向量机在人脸识别中的应用](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=JSGG200311032&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2003&v=)[J].  计算机工程与应用. 2003(11)

[48] [Support vector machines for face recognition](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SJES13012201350140&dbcode=SJES)[J] . Guodong Guo,Stan Z. Li,Kap Luk Chan.  Image and Vision Computing . 2001 (9).

[49] J.A.K. Suykens,J. Vandewalle. [Least Squares Support Vector Machine Classifiers](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SSJD00000594231&dbcode=SSJD)[J] . Neural Processing Letters . 1999 (3).

[50] Tony van Gestel,Johan A.K. Suykens,Bart Baesens,Stijn Viaene,Jan Vanthienen,Guido Dedene,Bart de Moor,Joos Vandewalle. [Benchmarking Least Squares Support Vector Machine Classifiers](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=SSJD00001340717&dbcode=SSJD)[J] .  Machine Learning . 2004 (1).

[51] 李红莲,王春花,袁保宗. [一种改进的支持向量机NN-SVM](http://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=JSJX200308017&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2003&v=)[J].  计算机学报. 2003(08).

**致谢**

时光荏苒，岁月如梭，转眼间三年研究生生活即将结束。在毕业论文完成之际，我对所有帮助、关心过我的人们表示衷心的感谢！

首先向我的导师XXX教授致以最真诚的感谢。刘老师渊博的专业知识，严以律己、宽以待人的崇高风范，平易近人的人格魅力对我影响深远。三年来，刘老师不仅在学业上对我精心指导，严格要求，同时还在思想、生活上给我无微不至的关怀和教导: 在我学习态度松懈的时候谆谆教导，耳提面命；在我论文写作出现问题的时候耐心讲解，不吝赐教；在我论文投稿屡屡受挫的时候鼓励我再接再厉，向其他同学学习；在此谨向老师致以衷心的感谢和崇高的敬意。

感谢XXX教授、XXX教授、XXX老师在我硕士期间提供的学习和生活中的帮助及指导。

感谢所有陪我度过研究生生活的同学们。感谢我的好朋友XXX和XXX，在我遇到问题和困难的时候，总是无条件的给予我最大的帮助。感谢XXX、XXX、XXX同学帮助和指导。

非常感谢我的父母对我的支持和照顾。感谢他们一直以来的默默付出，无微不至的关爱和呵护，愿他们健康长寿，开心幸福！

最后感谢在百忙之中抽时间对本文进行评阅的专家、教授。由于本人水平有限，文中难免有不足之处，恳请专家和读者批评指正。

**攻读硕士期间主要研究成果**