

学校编码: 10384
学 号: 20051302441

分类号_____密级_____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于小波变换与 KPCA 人脸识别技术研究

Face Recognition Based on KPCA and Wavelet Transform

陈 松

指导教师姓名: 蔡建立 副教授

专 业 名 称: 控制理论与控制工程

论文提交日期: 2 0 0 8 年 4 月

论文答辩时间: 2 0 0 8 年 月

学位授予日期: 2 0 0 8 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 04 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版,有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅,有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索,有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密 (), 在 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密 ()

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名: 日期: 年 月 日

导师签名: 日期: 年 月

摘要

人脸识别由于人脸的非刚体性和易变性,成为一个复杂、涉及面广且应用前景广阔的课题,近年来掀起研究热潮并取得突破性进展。前人在人脸识别技术上虽然积累了丰富的成果,但是也遇到了一些困难。例如:有效人脸特征的提取,识别率和识别速率的提高等。人脸识别涉及的技术很多,其中关键的是特征提取和分类方法,本文围绕人脸识别问题对人脸特征的有效提取、提高识别率和识别速率进行了探讨和研究,提出了一种基于特征组合的特征提取算法,取得了较好的效果。本文的具体内容和创新点包括:

(1) 对人脸识别所涉及到的理论进行了介绍与研究。

(2) 针对人脸在图像中的大小、位置、旋转角度以及光照等条件的不同对特征提取的影响,本文对人脸图像进行预处理。

(3) 依据小波系数的不同特点:低频部分刻画的是图像的整体(形状),而高频部分包含了相当数量的细节信息。因此对原始图像进行三层小波分解,选用一、二、三层的低频平滑子带作为小波特征。这样既保留了面部的全局形状,又淡化了局部细节。同时降低了人脸图像的维数,提高了识别率识别速度。

(4) 针对特征提取在整个人脸识别中的作用,本文对得到的小波特征运用核主成分分析,获得特征空间上的三组主分量特征。

(5) 研究了特征维数与识别率之间的关系,指出传统特征提取方法的不足。并设计了一种新的基于特征组合的特征提取算法,即对获得的三组主分量特征进行主特征向量和次特征向量的划分,再由主特征向量和次特征向量组合为每个原始样本的最终分类特征向量。最后将得到的最终分类特征向量输入到分类器进行分类识别。实验证明本文提出的特征组合算法优于只将某一类小波特征作为识别特征的传统方法。而且,在识别的速度也有一定的优势。

(6) 以多项式核函数构造了支持向量机,并根据“一对一”策略设计多分类支持向量机。

最后,总结了全文的工作,并指出了若干有待于今后进一步研究的内容。

本文对所论述的算法均进行了 MATLAB 数据仿真,并给出了详实的实验数据。

关键字：人脸识别；核主成分分析(KPCA)；支持向量机

厦门大学博硕士论文摘要库

ABSTRACT

Face recognition has become an issue, which is complex, involving a wide range of applications and broad prospects as for the face's non-rigid and volatility, and has set off an upsurge and made breakthrough progress in recent years. Though researchers have accumulated rich results in the face recognition technology, they also have encountered some difficulties such as the effective extraction of features, the improvement of recognition rate and velocity of identification and so on. Face recognition is in relation of a lot of technologies, the two keys are extraction of features and classification methods. This paper deals with effective extraction of features of facial characteristics, improvement of the recognition rate and speed on face recognition problems, proposed a feature extraction algorithm based on feature combination, which is proved to be effective. In this paper, the specific contents and innovations include:

(1) Introducing and studying the theory involved with face recognition.

(2) Complete the face samples image enhancement, the normalized geometric and gray and white processing at the preprocessing time, which would be effective in improving image quality, and lower its computational complexity.

(3)Based on the different characteristics of wavelet coefficients: the low-frequency part characterizes the overall image (shape), and the high-frequency part consists of a considerable number of details. Decompose the original tri-tier image by wavelet decomposition, choose the first, second and third floors of the low-frequency band as smooth wavelet characteristics. This will not only retain the overall shape of the face, also weak the local details. At the same time reduces

the dimensions of face images, improves the recognition rate and speed.

(4) In the area of feature extraction, the KPCA is used in the obtained wavelet characteristics in the paper, to get the three principal components' characteristics in the feature space. The relationship between the characteristics dimension and recognition rate is researched, and the limitations of traditional methods in feature extraction is pointed out. A new feature extraction algorithm is designed based on the features combination, that is making a partition of primary eigenvector and secondary eigenvector of the obtained three principal components' characteristics, then combine the primary eigenvector with the secondary eigenvector to be the final classify eigenvector of each original sample. At last, input the final classify eigenvectors to the classifier for classification recognition. Experiment shows that the new algorithm is superior to the traditional method of serving one certain type of wavelet as the identifying characteristics. For the more, the recognition speed also has advantages.

(5) Build SVM with Polynomial kernel function, and design the multi-class SVM in accordance with the "one-to-one" strategy.

Finally, conclude the full work of the text, and point out some contents in need of further study in future.

This paper emulates the proposed algorithm by MATLAB simulation, and gives detailed experimental data.

Keywords: Face recognition; KPCA; SVM

目 录

1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 课题研究的背景与意义	2
1.2.1 研究的背景.....	2
1.2.2 课题的意义.....	2
1.3 人脸识别研究的现状与技术难点	4
1.3.1 研究现状.....	4
1.3.2 存在的困难.....	6
1.4 人脸识别方法综述	7
1.4.1 基于几何特征的人脸识别方法.....	7
1.4.2 基于模板匹配的人脸识别方法.....	8
1.4.3 特征脸方法.....	9
1.4.4 隐马尔科夫模型的人脸识别方法.....	10
1.4.5 人工神经网络方法.....	11
1.4.6 弹性图匹配方法.....	12
1.5 本文的工作和创新点	13
1.6 论文结构	14
2 人脸图像预处理	15
2.1 引言	15
2.2 人脸图象库	16
2.3 人脸图象预处理	17
2.3.1 人脸图像归一化.....	17
2.3.1 人脸图像灰度直方图的修正.....	18
2.4 人脸图像的小波分解	18
2.4.1 小波分析的背景.....	18
2.4.2 连续小波变换.....	19
2.4.3 离散小波变换.....	22
2.4.4 二维离散小波变换快速算法.....	23
2.4.5 多分辨分析.....	25
2.4.6 Mallat 算法.....	28
2.4.7 人脸图像的小波分解及试验分析.....	30
3 基于核主成分分析的人脸特征提取	32
3.1 特征提取的意义	32
3.2 基于主成分分析的人脸特征提取	33
3.2.1 K-L 变换原理.....	33
3.2.2 K-L 变换特征提取.....	35
3.2.3 基于 PCA 的人脸识别.....	37
3.2.4 PCA 人脸识别方法.....	41

3.2.5 PCA 的优缺点分析.....	41
3.3 基于核主成分分析的人脸特征提取.....	42
3.3.1 核方法基本概念.....	42
3.3.2 核主元分析 (KPCA).....	44
3.3.3 基于 KPCA 人脸识别方法.....	46
3.3.4 KPCA 的优缺点分析.....	46
4 统计学习理论与支持向量机.....	47
4.1 机器学习的基本问题.....	48
4.1.1 机器学习问题的表示.....	50
4.1.2 经验风险最小化.....	50
4.1.3 复杂性与推广能力.....	50
4.2 统计学习理论.....	51
4.2.1 函数集的 VC 维.....	52
4.2.2 推广能力的界.....	52
4.2.3 结构风险最小化.....	53
4.3 支持向量机.....	55
4.3.1 概述.....	55
4.3.2 线性支持向量机.....	57
4.3.3 非线性支持向量机.....	60
4.3.4 多分类支持向量机.....	61
5 实验仿真结果及讨论.....	64
5.1 基于核主成分分析人脸识别方法.....	64
5.1.1 实验人脸图像库.....	64
5.1.2 实验与分析.....	64
5.1.3 结论.....	66
5.2 基于特征组合的人脸识别方法.....	66
5.2.1 算法实现.....	66
5.2.2 实验与分析.....	67
5.2.3 结论.....	68
6 结束语.....	70
6.1 本文总结.....	70
6.2 人脸识别技术展望.....	71
参考文献.....	73
攻读硕士学位期间发表学术论文情况.....	76
致谢.....	77

Contents

Chapter 1 Preface	1
1.1 Foreword	1
1.2 The background and significance of the research	2
1.2.1 Research background.....	2
1.2.2 Project significance.....	2
1.3 The status quo and technical difficulties of face recognition	4
1.3.1 Research status.....	4
1.3.2 Present difficulties.....	6
1.4 Overview of Face recognition	7
1.4.1 Face recognition methods based on geometrical feature.....	7
1.4.2 Face recognition methods based on template matching.....	8
1.4.3 Eigen faces method.....	9
1.4.4 Face recognition methods based on hidden markov model.....	10
1.4.5 Face recognition methods based on artificial neural network.....	11
1.4.6 Elastic Graph Matching (EGM) method.....	12
1.5 Assignment and innovations	13
1.6 Structure	14
Chapter 2 pre-process of facial image	15
2.1 Introduction	15
2.2 Facial image storehouse	16
2.3 Pre-process of facial image	17
2.3.1 Normalization of facial image.....	17
2.3.2 The correction of grey histogram.....	18
2.4 Wavelet decomposition of facial image	18
2.4.1 Background of wavelet analysis.....	18
2.4.2 Continuous wavelet transform.....	19
2.4.3 Discrete Wavelet Transform.....	22
2.4.4 2-D Discrete Wavelet Transform (2-D DWT) quick algorithm.....	23
2.4.5 Multi-resolution analysis.....	25
2.4.6 Mallat algorithm.....	28
2.4.7 Wavelet decomposition and experimental analysis of facial image.....	30
Chapter 3 Feature extraction based on KPCA	32
3.1 Significance of feature extraction	32
3.2 Feature extraction based on Principal component analysis (PCA)	33

3.2.1 Principle of K-L transform.....	33
3.2.2 Feature extraction in K-L transform.....	35
3.2.3 Face recognition based on PCA.....	37
3.2.4 PCA face recognition method.....	41
3.2.5 Advantages and disadvantages of PCA.....	41
3.3 Feature extraction based on KPCA.....	42
3.3.1 Basic concept of kernel method.....	42
3.3.2 KPCA.....	44
3.3.3 Face recognition method based on KPCA.....	46
3.3.4 Advantages and disadvantages of KPCA.....	46
Chapter 4 Statistical Learning Theory and SVM.....	47
4.1 Basics of machine learning.....	48
4.1.1 Expression of machine learning.....	50
4.1.2 Empirical risk minimization.....	50
4.1.3 Complexity and generalization ability.....	50
4.2 Statistical Learning Theory.....	51
4.2.1 VC-Dof function set.....	52
4.2.2 Edge of generalization ability.....	52
4.2.3 Structure Risk Minimization.....	53
4.3 SVM.....	55
4.3.1 Summary.....	55
4.3.2 Linear SVM.....	57
4.3.3 Non-linear SVM.....	60
4.3.4 Multi-class SVM.....	61
Chapter 5 Emulation.....	64
5.1 Face recognition based on KPCA.....	64
5.1.1 Facial image storehouse of ORL.....	64
5.1.2 Experiment and analysis.....	64
5.1.3 Conclusion.....	66
5.2 Face recognition based on eigen-combination.....	66
5.2.1 Algorithm realization.....	66
5.2.2 Experiment and analysis.....	67
5.2.3 Conclusion.....	68
Chapter 6 Conclusions.....	70
6.1 Conclusions.....	70
6.2 Preview of face recognition.....	71
References.....	76
Acknowledgement.....	77

第一章 绪论

1.1 引言

计算机人脸识别技术是利用计算机对人脸图像进行分析和理解,从而完成人脸检测,身份认证等工作的技术,也是近年计算机图像处理、模式识别、人工智能领域内最为活跃的研究课题之一。

准确鉴定一个人的身份、保护信息安全,是当今信息化时代必须解决的问题。由于传统的身份识别(身份证、密码等)都存在着缺陷,基于生物特征的识别技术成为了人们研究的热点。同其他人体生物特征(如:指纹、DNA、掌纹等)识别技术相比,人脸识别技术具有自身的特点。第一,人脸图像数据是非接触式采集,没有侵犯性,容易接受;第二,可以隐蔽操作,特别适合安全问题、罪犯监控与抓逃等应用,它不需要人配合,这是其它生物识别技术做不到的;第三,符合人类的识别习惯,在事后追踪和识别评测时,可交互性很强;第四,人脸识别系统的设备成本较低,很容易嵌入到其它系统中;第五,能够对人们生活中记录的静态图像做出处理。人脸识别是基于已知的人脸库,利用图像处理、模式识别技术从给定的静态或视频图像中检测出人脸,并判断其身份。它在身份鉴别、驾照和护照的核对、银行及海关的监控系统等领域都有着广泛的应用^[1]。人脸识别涉及图像处理、生理学、计算机视觉等诸多学科领域^[2]。

但是人脸识别也有很多不足。人脸自身所处环境的复杂性,如表情、姿态、图像的环境、光照强度等条件的变化以及人脸上的遮挡物(眼镜、胡须)等,都会使人脸识别的结果受到很大的影响^[3]。

本章就人脸识别技术的研究背景、意义、研究内容、目前存在的技术难点以及研究现状和应用前景进行介绍,最后对论文的研究成果和内容安排进行说明。

1.2 课题研究的背景与意义

1.2.1 研究的背景

随着社会的发展,网络及信息化技术的大量普及应用,随之而来的是身份的数字化和隐性化,而在诸如视觉监控、远程教育、人机交互技术、自动身份验证、银行安全、以及司法刑侦等各方面都迫切希望能够进行快速、有效、稳定的身份验证,特别是在信息安全领域,准确识别一个人的身份正是保护信息安全的一个必须考虑的关键问题。

人脸识别技术作为生物识别技术的一种,以其特有的稳定性、方便性、唯一性等特点被愈来愈广泛地应用在不同的身份识别领域,它的研究涉及模式识别、图像处理、生理学、认知科学,并且与其他生物识别技术及计算机人机感知交互技术都有着密切的联系。采用人脸识别技术,建立自动人脸识别系统,用计算机实现对面脸图像的自动识别有着广阔的应用领域和诱人的应用前景。因而成为当前模式识别和人工智能领域的一个研究热点^{[4]-[7]}。

1.2.2 课题的意义

1 学术价值

人脸识别理论及技术的研究具有高度的理论价值。它的研究涉及心理学、生理学、人工智能、模式识别、计算机视觉和图像分析与处理等多个学科领域,也和人脑的认识程度紧密相关,更是模式识别、人工智能和计算机视觉的典型案列之一。由于人脸是非刚体的模式,代表了最典型、最困难的模式识别问题,而且人类由来都是主要用人眼去识别人脸来辨别身份的,如能用机器来实现这一视觉功能,无疑将具有非常重要的意义。所以对这一问题的研究和解决,有助于其他对象识别问题的研究分析和解决,也有助于相关学科问题的解决,促进跨领域的多学科综合发展。

2 应用前景

任何一种技术的发展都是由于受到了实际应用需要的激励,人脸识别技术也

不例外。人脸识别受重视的一个重要原因是其在经济、安全、社会保障、犯罪、军事等领域有着巨大的潜在的应用价值,尤其是在需要对用户身份进行验证或识别的场合,如银行、海关等重要部门的身份验证,驾照、护照、身份证等证件的核对,安全监控、犯罪搜捕等领域人脸识别技术都是具有广泛的应用价值的。

采用人脸识别技术,建立自动人脸识别系统,用计算机实现对人脸图像的自动识别有着广阔的应用领域和前景。正在被推向以下的应用领域:

- 身份鉴别

人脸是自然界存在的一种特殊的、复杂的视觉模式,它包含着极其丰富的信息。人脸作为一种高普遍性、可以非接触式采集的重要生物特征,可以用以进行身份鉴别。人脸识别技术可以被应用在多种不同的安全领域:证件(如:驾驶执照、护照)中的身份认证;楼宇进出的安全控制;重要场所中的安全检测和监控;智能卡中的身份认证。

- 信息安全

人脸识别技术在信息安全领域也有着巨大的潜在应用价值。随着网络技术日益走进人们的日常生活,越来越多的用户可以访问互联网,越来越多的信息被置入互联网。而由于网络信息访问的便捷性,网络的安全控制成为一个日益迫切的重要问题。利用人脸识别技术,可以进行计算机的登录控制,可以进行应用程序的安全使用、数据库的安全访问和文件加密,可以实现局域网和广域网的安全控制,可以保护电子商务的安全性。

- 人机交互

高性能、高智能和高可用性被普遍认为是当前计算科学发展的主要方向。而智能人机接口技术要研究的正是如何提高计算设备的智能性和可用性问题,其目标就是要建立和谐自然的人机交互环境,使用户可以方便、自然地利用人类所熟知的方式使用计算机。一个可以识别使用者人脸的智能计算机,可以按照其特点为该使用者提供工作环境,从而使人与计算机之间的交互如同人与人之间的交互一样轻松自如。

- 图像检索

使用人脸识别实现基于内容的图像检索系统,在大型人脸库中检索出与索引脸像相同或相近的脸像。不仅界面自然,操作方便,还能获得比关键词搜索更加

准确的结果。

在日常生活中，人们识别周围的人用的最多的就是人脸，因而人脸识别是一种最容易被接受的身份鉴定方法。由于人脸识别具有非侵犯性、直接、友好、方便的特点，因此它是人们最容易接受的身份鉴别方式。由于人脸识别技术具有如此之多的优势，因此它的应用前景非常广阔，已成为最具潜力的生物特征识别技术之一。

1.3 人脸识别研究的现状与技术难点

1.3.1 研究现状

如前所述，人类可以很轻松地从中检测并识别出人脸，而且这种识别能力相当强，鲁棒性十分好^[8]。即使在视觉刺激上有非常大的变化，如不同的视角、表情、年龄、是否带眼镜和发型的变化等，人类都能相当好地进行识别。然而，要想理解人类如何进行人脸识别的视觉机制，并进一步构建能完成上述人脸识别任务的自动系统却是一个非常困难的任务。

最近几年来，人脸识别研究引起了学术和工业界越来越多的关注。人脸识别的输入图像通常有三类情况：正面、侧面、倾斜。目前，对人脸正面模式的研究最多，它的发展大致可分为三个阶段^[4,5,9,10,11]。

第一阶段是机械式的识别阶段，以 Bertillon、Allnen 和 Parke 为代表，主要研究人脸识别所需要的面部特征^[4,5]。在 Bertillon 的系统中，采用一个简单语句与数据库中某一张脸相联系，并与指纹分析相结合，取得了较好的识别效果。为了提高脸部识别率，Allnen 为待识别人脸设计了一种有效和逼真的摹写^[12]。Parke 则用计算机实现了这一想法，并产生了较高质量的人脸灰度图模型^[13]。这一阶段工作的特点是识别过程几乎全部依赖于操作人员，显然，这不属于自动识别系统的范畴。

第二阶段是人机交互式识别阶段。Goldstion 等人用几何特征参数来表示人脸正面图像，采用 21 维特征矢量表示人脸面部特征，并设计了基于这一特征表示法的识别系统^[14]。Kaya 和 Kobayashi 则采用统计识别方法，用欧氏距离来表征人脸特征，如嘴唇与鼻子间的距离，嘴唇的厚度等^[15]。T. Kanad 设计了一个

高速且有一定知识导引的半自动回溯识别系统,创造性地运用积分投影法从单幅图像上计算出一组脸部特征参数,再利用模式分类技术与标准人脸相匹配^[16]。Kanad 的系统实现了快速、实时处理,是一个很大的进步。相比之下,Baron 所做的工作较少为人所知:他先对图像灰度进行归一化处理,再用 4 个掩模(眼、鼻、嘴及眉毛以下的整个脸部)表示人脸,然后分别计算 4 个掩模与数据库中每幅标准图像的相应掩模之间的互相关系数,以此作为判别依据^[17]。总的来说,这类方法需要利用操作员的某些先验知识,仍然摆脱不了人的干预。

第三阶段是真正的自动识别阶段,产生了众多人脸识别方法,出现了多种机器全自动识别系统。近年来,随着高性能计算机的发展,和人们对自动识别技术的需求,人脸模式识别方法有了较大的突破,目前已提出了多种机器全自动识别系统^[4,5,9,10,11]。

近 30 年来,人脸自动识别的研究取得了很大的进展,从工程索引(EI)上检索到的相关文献已达数千篇,包括 IEEE TPAMI 在内的重要国际期刊也有专栏甚至专刊报道人脸识别的最新研究进展,同时还出现了专门的国际学术会议,如人脸/手势识别国际学术会议。

自二十世纪九十年代以来,人脸识别取得了重大进展,出现了许多新方法。目前的研究也主要有两个方向:其一是基于整体的研究方法。它考虑了模式的整体属性,包括特征脸(Eigen faces)方法、SVD 分解的方法、人脸等密度线方法、弹性图匹配(Elastic Graph Matching)方法、隐马尔可夫模型(Hidden Markov Model)方法以及神经网络的方法等;其二是基于特征分析的方法,也就是将人脸基准点的相对比率和其它描述人脸脸部特征基于整体脸的识别不仅保留了人脸部件之间的拓扑关系,而且也保留了各部件本身的信息,而基于部件的识别则是通过提取局部轮廓及灰度信息来设计具体识别算法。基于部件的识别比基于整体的识别来的直观,它提取并利用了最有用的特征,如关键点的位置以及部件的形状分析等,而基于整个人脸的识别而言,由于把整个人脸图像作为模式,那么光照、视角以及人脸尺寸等会对人脸识别有很大的影响,因此如何能够有效的去掉这些干扰是关键。虽然如此,但对基于部件分析的人脸识别方法而言也有困难。其难点在于如何建立好的模型来表达识别部件。近年来一个趋势是将人的整体识别和特征分析的方法结合起来,如 Kin-Man Lam 提出的基于分析和整体的方法

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库