

北京大学

博士研究生学位论文

题目：基于掌纹识别的在线身份验证

姓 名：李文新

学 号：19608815

系 别：计算机科学与技术系

专 业：计算机软件与理论

研究方向：人工智能与空间信息决策

导 师：许卓群 教授

二零零一年五月

任何收存和保管本论文各种版本的单位和个人, 未经本论文作者授权, 不得将本论文转借他人并复印、抄录、拍照、或以任何方式传播。否则, 引起有碍作者著作权益之问题, 将可能承担法律责任。

摘 要

生物识别技术作为在线身份验证的底层技术，近年来正得到越来越广泛的关注。本文对生物识别技术的一个新兴的分支学科，掌纹识别做了比较深入的研究，并以掌纹识别研究为依托，对整个生物识别技术所面临的问题做了深入的思考。

在整个研究中的创造性工作主要体现在以下几个方面：

1. 较为全面系统地分析了掌纹识别的研究目的、研究内容、研究方法、关键问题和难点。

2. 提出了特征发现的新概念，即在特征不明确的情况下，通过观察-猜测-实验验证-改进-再观察的方法来发现特征，并开发了一个辅助于特征发现的软件工具。

3. 归纳分析了掌纹上有语义的特征，选择了可在低分辨率掌纹图像下度量的特征子集作为识别的主要依据并定义了特征子集上的特征之间的相互依赖关系并在此基础上提出了分级分区的掌纹特征提取方法。

4. 设计制作了一台实时掌纹图像采集设备，并针对掌纹是一个三维曲面的特点，提出了用非接触式方法获取掌纹图像的思想并在二维灰度图像上提取三维曲面上的特征作为识别的重要依据。

5. 组织了有规模的掌纹采集活动，搜集了来自 600 多人的约 6000 个掌纹图像，建立了一个掌纹数据库。从而为自己和同行在掌纹识别领域的研究提供了必要的基础。

6. 设计开发了一个掌纹库管理系统，用以采集管理掌纹图像。基于自己提出的掌纹特征模型，实现了一个实时掌纹验证系统。结合灵通卡开发了一个利用掌纹特征识别技术取代密码输入的模拟银行提款机系统。

另外，本论文还对未来的研究方向进行了探讨，提出了几个大胆而可行的进一步的研究方案：

1. 用数理统计的方法，分析在现有识别方法下，实验样本容量与系统推广可信度之间的关系以及在明确预期识别效果的情况下，确定实验样本容量的方法。

2. 设计实现一个竞争学习网络，使得掌纹识别系统能够在被使用过程中具有一定的学习和自适应能力。

3. 综合多种人体特征以突破基于单个人体特征（如指纹、声音、脸型等）的识别系统的一些局限性，如不能在任意场合、任意时间、对任意人群达到令人满意的识别效果等。

关键词

掌纹识别、生物识别技术、特征提取、特征发现、在线身份验证。

ABSTRACT

Biometrics computing, which uses human being's physical or behavioral characteristics to identify individuals, is gaining more and

more attention recently. In this thesis, we focus on the research of a new branch of biometrics computing – palmprint identification. Issues include palmprint collection, feature discovery, feature modeling and identification system design are explained in detail. Moreover, several theory problems, which have impact to the whole biometrics research area, are discussed.

The main creative work in our research is summarized as below:

1. Give a systemic analysis to the objectives, key issues and the most difficult points of the research on palmprint identification.
2. Introduce a new concept – feature discovery, which means to discovery the features using a frame likes observe – guess – prove – improve – re-observe when the features are unknown. And we also developed a tool in assisting the feature discovery.
3. Give a definition to palmprint feature model and propose the feature extraction method respectively.
4. Design and develop an online palmprint capture device.
5. Set up an online palmprint database with more than 6000 palmprint images in it. And the database provides a basis for further research on palmprint identification.
- 6. Design and develop a palmprint database management system, a real time palmprint identification system and a demonstration system that integrates the palmprint identification**

and smart card technology for ATM.

Besides these, we also discuss several challenging theory problems in biometrics computing:

1. How to predict the system identification rate when the user population becomes larger?

2. How to make the identification system more intelligent and adaptive?

3. How to integrate multi human features to improve the identification rate and make the system adaptive to more people?

KEY WORDS

Palmprint identification, biometrics computing, feature discovery, feature extraction, online personal identification.

概 述

1. 论文研究的主要内容

掌纹识别是指根据人的手掌上的纹理来识别哪些掌纹图像是来自同一只手掌，哪些掌纹图像是来自不同的手掌。人的掌纹千差万别，没有两个手掌的纹理是完全相同的。根据掌纹的这一特点，可以用掌纹来做人的身份鉴别。基于掌纹识别的在线身份验证就是指用某种连

机的输入设备实时地采集被验证人的掌纹图像，提取其特征并与注册在系统中的掌纹特征作比较，判定被验证人是否已经在系统中注册过。

基于掌纹识别的在线身份验证的研究主要包括如何实时地获取掌纹图像，如何对掌纹图像作预处理以纠正采样过程中引入的手掌图像的旋转、平移和变形，如何定义并成功提取掌纹的特征，如何描述掌纹的特征，如何作特征的比对和综合以给出最终的判断结果。评价某一识别方法的成功与否的两个关键是判断的正确性和响应的实时性。

掌纹识别与指纹识别、签名识别、说话人识别、脸型识别等一同构成生物识别技术，是模式识别的一个分支。有很多成熟的技术可以借鉴，如图像处理中的图像分割、边缘检测、纹理分析、图像比对，统计分析中的回归分析、实验设计、分类与聚类方法，机器学习中的神经网络等等。但是由于掌纹有着与指纹、签名、语音、脸型完全不同的特征，而已有的技术方法在提出时都有其各自的应用背景，因而并不能完全解决掌纹识别中的问题。加之自动化掌纹识别的研究起步较晚，发展尚不成熟，所以在这一领域仍有许多问题值得探讨和研究。我们本着以开发实用的基于掌纹识别的在线身份验证系统为最终目标的原则，系统地分析了掌纹识别研究的主要内容、基本方法、关键问题和难点，并针对关键问题和难点进行了前人不曾尝试的探索，取得了比较满意的结果。

2. 论文的研究路线

本论文研究工作的展开遵循了以下的研究路线:

首先是研究背景的调查。通过查找文献和万维网上的搜索,搞清楚基于生物识别技术的在线身份验证的基本含义、出现的背景和初衷、当前主要的应用领域、目前从事这一领域研究的机构和人员组成、研究人员关注的热点和难点。参观调查已在运行的应用系统并与最终用户讨论以预测该领域可能的发展方向和潜力。建立一个自己的信息源网站,连接到与此研究有关的政府机构、大学实验室、公司、杂志、社团组织的网页,以便随时了解同行的动态,加强横向的交流。

其次是理论基础的准备。通过上课和阅读的方式系统学习了与论文研究有关的理论知识包括图像处理、数理统计分析、模式识别、机器学习等内容。此外还学习了诸如指纹识别、声音识别、脸型识别等与掌纹识别对等学科的研究方法以及掌纹诊病、掌纹看相和已有的掌纹自动化识别的有关方法。

接下来是具体地实践,即寻找掌纹识别的可靠方法。我们与深圳红光奥康公司合作开发了基于数字摄像机技术的掌纹采样设备,先建立了第一个规模为来自五十个手掌的五百个掌纹图像的在线掌纹库,定义了一个原始的掌纹特征模型及提取算法,并在所建的掌纹库上测试并改进原始的特征提取方法,使得该方法在已有的掌纹库上识别率达到百分之百,之后建立第二个掌纹库,规模为来自二百个手掌的二千个掌纹图像,对识别算法进行进一步地验证和改进,并用数理统计分析的方法对识别方法的可靠性和在更大规模的人群中推广的可信度进行了评估和验证。同时开发了三个应用模型系统来展示掌纹识别

的实用价值，并在网上公布了掌纹图像库以吸引更多的研究者。

最后是理智的思考、经验的总结和研究方向的再定位。希望能够找出掌纹识别中一些难点的数学模型并用已有的数学理论加以分析和解决。

3. 论文研究所完成的有创新意义的主要工作

- **较为全面系统地分析了掌纹识别的研究目的、研究内容、研究方法、关键问题和难点。**

自动化掌纹识别的研究起步较晚，尽管前人做了一些有益的尝试，但是在这方面还是缺乏系统的研究。本文总结了前人研究的成果，结合我们的发现，把掌纹识别研究本身作为一个研究对象，剖析了掌纹识别可能的应用领域和应用方式，分析了掌纹识别与其它用于身份鉴别的特征识别之间的相同与不同之处，讨论了在掌纹识别中到底有哪些问题需要进一步研究以及这些问题的要点和难点在哪里，分析了应用现有的一些图像处理、数理统计、模式识别、机器学习等领域中的相关方法进行掌纹识别的效果和局限性，从而为后续的掌纹研究提供了基础。

- **提出了特征发现的新概念，即在特征不明确的情况下，通过观察-猜测-实验-改进-验证的方法来发现特征，并开发了一个用于特征发现的辅助软件工具。**

特征提取在身份鉴别研究中占有很重要的位置。以往的关于掌纹研究的文献偏重于报告就一些可见的有语义的特征试验各种不同的

提取方法或用代数运算的方法将原始数据降维，而我们的研究思想是承认特征的发现需要灵感和顿悟而发现的特征是否正确可以用数理统计的方法加以验证，并且根据验证过程中的反馈信息可以改进特征描述和提取方法。这一过程中，前一部分是不可预测的，而后一部分是可以给出数学度量的。掌纹识别中对于某一特征的提取过程包括从活体手掌获取掌纹图像和找到一个函数将图像映射到数轴上的一点等两个阶段。评价一种特征提取方法是否有效的准则是尽可能地使同一手掌的图像映射后聚集在某一点周围而使不同手掌的图像映射后尽量均匀分散地分布。改善特征提取方法可以通过改进图像输入设备和修改映射函数两种办法来实现。本文就掌纹特征的发现和验证提出了可行的实验设计方法并开发了一个软件工具帮助研究人员在特征发现过程中作必要的统计分析工作。

● **归纳分析了掌纹上有语义的特征，选择了可在低分辨率掌纹图像下度量的特征子集作为识别的主要依据并定义了特征子集上的特征之间的相互依赖关系并在此基础上提出了分级分区的掌纹特征提取方法。**

● 掌纹上有语义的特征很多，包括轮廓、子区域、主线、白线、乳突线、三角点、乳突线花纹等。并不是所有特征都适合在低分辨率图像中提取，所以我们选择了已知特征的一个子集，并从特征提取的角度给出了特征之间的依赖关系，提出了一个分级分区的特征提取方法。所谓分级是指按层次提取掌纹特征。掌纹特征多种多样，其中有些是明显的容易提取的，还有一些是与明显特征有关的不容

易直接提取的。分级进行特征提取可以首先提取那些明显而易提取的特征，然后根据其它特征与已知特征的拓扑关系进行下一步的特征提取。分区提取是指先将掌纹图像按某些特征进行区域分割，在较小的区域上进行特征提取，然后再将这些特征整合起来进行最终的判定。虽然这种分而制之的思想自古有之，但具体到掌纹识别中究竟应该如何分级分区，如何将分割的特征统一起来仍是个值得研究的问题。本文就这一问题提出了有效的解决方案。

- **设计制作了一台实时掌纹图像采集设备，并针对掌纹是一个三维曲面的特点，提出了用非接触式方法获取掌纹图像的思想并在二维灰度图像上提取三维曲面上的特征作为识别的重要依据。**

在线掌纹特征获取的一般想法是将手掌掌心向下置于扫描仪面板上扫描输入或类似指纹识别使用基于数字摄像机的专门设备将掌纹置于一个透明的玻璃板上用摄像机从板后照相。但是这种方法破坏了掌纹的三维特征，而三维曲面特征也是掌纹的重要特征之一。因此，我们提出了去掉摄像机前面的玻璃板，采用直接照相的方法来保留掌纹上的三维特征以用于特征提取。

- **组织了有规模的掌纹采集活动，搜集了来自 600 多人的约 6000 个掌纹图像，建立了一个掌纹数据库。从而为自己和同行在掌纹识别领域的研究提供了必要的基础。**

拥有一个具有规模的掌纹库是从事掌纹自动化识别研究的必要条件。为此我们先后组织了多次采集活动，搜集来自不同年龄、不同职业、不同性别的人群的掌纹图像以供研究。掌纹库的建立一方面为我

们观察更多的掌纹以便想象出更好的特征模型提供了方便，另一方面为验证我们提出的各种识别方法提供了基础。同时，它也为不同研究者提出的掌纹识别方法的比较提供了条件。

● **设计开发了一个掌纹库管理系统，用以采集管理掌纹图像。基于自己提出的掌纹特征模型，实现了一个实时掌纹验证系统。结合灵通卡开发了一个利用掌纹特征识别技术取代密码输入的模拟银行提款机系统。**

掌纹识别研究是围绕着掌纹的采集、掌纹的特征提取和比对、掌纹库的索引和检索等内容进行的。掌纹库管理系统的建立为掌纹的采集、更新、组织管理提供了必要手段，它是整个研究的基础。在分析比较了不同的掌纹特征之后，我们定义了掌纹的特征模型并据此开发了实时掌纹验证系统。为了展示掌纹识别技术的应用前景，我们还结合灵通卡开发了一个利用掌纹特征识别技术取代密码输入的模拟银行提款机系统。

4. 对未来研究的设想与展望

在本论文研究中，我们发现掌纹识别中还有很多有趣的、有难度、有意义的问题需要研究。下面主要给出作者针对几个关键问题的设想和研究方案：

● **设计一个具有学习功能的竞争网络系统，用于为掌纹识别系统增加主动学习和自适应能力。**

掌纹识别系统总是依据一定数量的掌纹样本开发的，随着时间的

推移，系统会被更多的人使用，因此要求系统具有一定的主动学习和自适应能力是必要的。在本文中，我们给出了一个具有学习功能的竞争网络系统的定义和详细设计，并希望在未来的研究中实现该系统。

● **用数理统计的方法，分析在现有识别方法下，实验样本容量与系统推广可信度之间的关系以及在明确预期识别效果的情况下，确定实验样本容量的方法。**

基于人体特征的身份验证研究的对象是人。如果把对每个人的每次抽样的集合看作是一个样本空间的话，考虑到不同时间的因素，这个样本空间是无限的。而所有的实验只能在有限样本上完成，因此必须研究样本容量与样本的代表性之间的关系。数理统计为这类研究提供了数学依据，因此我们用数理统计的语言描述了要研究的问题，并根据已有的数学理论计算出了样本容量与样本的代表性之间的关系。

● **尝试多种特征综合的黑箱和白箱综合法。此外，还将研究如何尝试将体征本身与体征所表达出的意愿作综合。**

由于基于单个人体特征（如指纹、声音、脸型等）的识别系统都有其局限性而不能在任意场合、任意时间、对任意人群达到令人满意的识别效果。本文就综合多种人体特征的可能性、可行性、方法作了有意义的探讨，并提出了不同特征的黑箱和白箱综合法。人体的特征不仅能代表个体，还能表达个体的意愿。例如，语音既可以代表一个人，更可以表达说话人的意图；签名可以用来识别人也可以用来识别所写的内容；人脸除了有五官，还有表情；手掌可以作各种动作等等。能否将客观特征和主观表情综合起来提高识别率也可以进一步研究。

目 录

摘 要

概 述

第 1 章	背景	1
1.1	基于生物识别技术的在线身份验证的发展	1
1.2	使用掌纹作在线身份验证的思路的由来	6
1.3	掌纹的古典应用	7
1.4	自动化掌纹识别的发展	9
1.5	小结	10
第 2 章	自动化掌纹识别研究的含义	12
2.1	研究目的	12
2.2	研究内容	13
2.3	基本研究方法	19
2.4	关键问题和难点	20
2.5	小结	21
第 3 章	相关理论的发展	22
3.1	图像处理与分析	22
3.2	数理统计分析	45
3.3	模式识别	50
3.4	机器学习	59
3.5	生物识别技术	61

3.6 小结	64
第4章 掌纹特征的发现	66
4.1 对特征模型发现问题的几点分析	66
4.2 特征发现的一般框架	69
4.3 原始的数字化掌纹特征模型的发现	70
4.4 低分辨率下掌纹特征模型的发现过程	79
4.5 小结	81
第5章 基于低分辨率图像的掌纹特征模型	82
5.1 评价掌纹特征优劣的准则函数	83
5.2 对不同掌纹特征的评价	83
5.3 掌纹特征的理论模型	85
5.4 掌纹特征模型 - 类定义	89
5.5 掌纹特征提取方法 - 构造函数	91
5.6 掌纹距离的计算方法 - 实例间的距离 (类方法)	92
5.7 实现的考虑	94
5.8 小结	95
第6章 掌纹识别系统的设计与实现	96
6.1 掌纹库管理系统	96
6.2 实时掌纹识别系统	98
6.3 结合灵通卡的自动提款机模拟系统	101
6.4 小结	103
第7章 实验方法设计和实验结果	105

7.1 脱机掌纹特征提取实验	105
7.2 掌纹采集设备开发中进行的实验	112
7.3 在线掌纹特征提取实验	114
7.4 系统测试实验	121
7.5 小结	122
第8章 对几个有挑战性的理论问题的分析研究和解决方案设计	123
8.1 基于竞争网络结构的掌纹识别系统	123
8.1.1 设计识别系统所考虑的因素	124
8.1.2 对系统设计原理的分析	124
8.1.3 竞争网络的定义及其判别功能	127
8.1.4 竞争网络的学习功能	128
8.1.5 竞争网络的学习冲突报警功能	133
8.1.6 竞争网络的实现	134
8.2 识别系统的效率及推广可信度分析	138
8.2.1 识别效率与学习次数的关系的检验	139
8.2.2 识别效率与系统使用人数的关系的检验	140
8.2.3 样本容量与推广可信度的关系分析	145
8.3 关于多种人体特征综合的设想	145
8.3.1 进行多种人体特征综合的目的和要素	146
8.3.2 综合方法 - 黑箱综合和白箱综合	147
8.3.3 客观人体特征和意愿表达特征的综合	148

8.4 小结	149
第9章 结论	151

参考文献

附录 A. 从事与生物识别技术有关的研究的大学实验室

B. 与生物识别技术有关的杂志、会议和讨论组

C. 与生物识别技术有关的国际组织

D. 与生物识别技术有关的公司

E. 与生物识别技术有关的重大事件表

在学习期间参加的项目、获奖情况及完成的论文

致谢

第1章

背 景

随着现代社会生活的日趋自动化，人们对安全性的需求变得越来越迫切。诸如“这个人有权访问这个系统吗？”“这个人有权执行这个操作吗？”“这个人是我们国家的公民吗？”之类的问题每天都被千百次地提出。所有这些问题都针对一个共同的安全问题，就是正确识别人的身份。目前正在使用的身份鉴别技术大致可分为三类。第一类主要基于信用卡、钥匙等物理介质；第二类主要基于口令、唯一码等可存储于人的大脑中的记忆[15][16]；第三类就是我们正在论述的生物识别技术——基于人体物理或行为特征的技术。前两种安全机制

所依赖的钥匙或密码有可能被偷窃、忘记、复制或共享，但是第三种技术就没有这些缺点。生物识别技术虽说不上是百分之百的安全，但它是迄今为止最安全的方法。

现在，人们不得不每天带上各种各样的信用卡并且记住几个、十几个甚至几十个密码。几乎每个人都遭遇过丢失钥匙或忘记密码的烦恼。同时，银行、电信公司每年都要因现存的基于信用卡和密码的安全系统存在漏洞而损失数以亿计美元的财产。正是由于以上原因，生物识别技术正在受到越来越广泛的重视。

1.1 基于生物识别技术的在线身份验证的发展

生物识别技术已存在几个世纪。我们似乎习以为常用身体的某个部位或行为的某些方面来识别自己熟悉的人。例如，我们能根据人脸或声音分辨出熟悉的人，再如银行用签名的方式来确认签订合同的双方，等等。生物识别技术几乎遍布我们生活的角角落落。

商用的基于生物识别技术的在线身份验证系统开始于七十年代左右。在那一时期，一种被称作“Identimat”的系统被安装在一些机密机构用来控制进入机构的人员的合法性检查。这种系统根据人手的形状尤其是手指的长度来鉴别身份。尽管“Identimat”于八十年代晚期停止生产，但它的出现为生物识别技术在自动身份鉴别中的应用奠定了基础[45]。

在六、七十年代指纹扫描输入技术有了长足的进步。在这一时期，

许多公司加入到指纹自动识别技术的研究队伍中来。人工进行现场指纹与犯罪记录比对的工作十分烦琐并且需要大量的时间。在六十年代末,美国联邦调查局开始研究自动指纹识别技术。到了七十年代中期,已经有许多部门安装了指纹自动识别系统。从此自动指纹识别技术在刑侦领域有了广泛的应用。近来,指纹识别技术正在占领越来越多的民用市场[45]。

与此同时,其他生物识别技术在六、七十年代也开始发展。八十年代中期,第一个视网膜识别系统研制成功。同期剑桥大学推出了虹膜识别系统。说话人识别的研究开始于七十年代。而脸型和签名识别是刚刚开始的高新技术[45]。

九六年以来,尤其在九八年,由于吸引了大量的研究和开发经费,生物识别技术的研究变得活跃起来并且逐渐形成一门独立的研究学科。一系列重大事件标志着该学科正在受到工业界和学术界的关注。例如,1997年9月,IEEE出版了一期自动生物识别技术专集;1998年4月,一个旨在开发通用生物识别技术程序接口的组织—“BioAPI”宣告成立。(参阅附录G 查阅近期跟生物识别技术有关的事件列表)。

据“Gartner Group”的商业技术杂志调查,生物识别技术正与电子商务一同成为1998年度十大最受关注的技术之一[42]。生物识别技术目前的发展状况是:

- **生物识别技术已经从实验阶段走向实用阶段**

现在世界范围内,有许多基于生物识别技术的应用正在被使用或正在被考虑使用(参阅附录F)。该类应用覆盖了从监狱的门卫系统到

自动提款机、信用卡、电话卡等广泛领域[45]。大部分系统目前还处在试用阶段。他们的有效性和准确性还有待于进一步验证。越来越多的志愿者加入到测试该类系统的行列中。

● **公司、政府和大学都已加入到生物识别技术的研究开发队伍中**

近年来生产与生物识别技术有关的产品的企业逐年增加。目前已有近百家公司在万维网上宣称自己提供与生物识别技术有关的硬件、软件和系统集成服务。产品包括指纹扫描设备、特殊的视网膜照相设备以及软件开发包等（参阅附录 E 查阅有关公司网址）。政府部门在生物识别技术的应用中起着关键作用。一方面，一些政府部门本身就是该类系统的最终用户，尤其是那些大规模的应用；另一方面，一些政府机构自己也在开发生物识别技术。另外，政府的某些规章制度及法律条文直接影响该项新技术的应用和发展。

大学是新的生物识别技术的摇篮。一些最新的技术正在大学里产生。同时校园也是培训开发者和用户的好地方（参阅附录 B 查阅有关大学进行生物识别技术研究的情况）。

● **一些从事模式识别、图像处理和计算机图形学的学者纷纷加入到生物识别技术研究队伍中**

由于有模式识别、图像处理和计算机图形学等学科的人士加盟，生物识别技术正在越来越多地使用来自这些学科的核心技术（参阅附录 A 查阅有关的文章及作者介绍）。

● **杂志、网页和会议都是了解生物识别技术进展情况的好地方**

每个生物识别技术组织都有自己的期刊用以报道与该技术有关的

新闻和动向。但是算法分析和基础理论探讨的主要阵地仍在诸如 IEEE Transactions 之类的期刊中（参阅附录 C 查阅有关的期刊列表）。网页是传播最新进展和即将发生事件最方便和快捷的地方。每个公司、组织、大学以及私人机构和个人都可以通过网页发表自己的意见和主张（参阅 <http://www.comp.polyu.edu.hk/~cswxli> 查阅相关网页地址）。

- **研究者、开发者和最终用户对生物识别技术提出了不同的要求**

随着生物识别技术的应用，越来越多的人开始关注该项新技术的发展。来自不同方面的人士关注的问题也不同。研究者更关心发明或发现新技术来解决或绕过现存的技术问题和难题。基于这样的考虑，身体的特殊气味、键盘的敲击方式和频率、步态等一些人体特征先后被研究者提出并开始研究。与此同时，开发者们则更关心拓广市场。工业标准、实时效率、大规模应用效率以及人们的抵触情绪都是他们关心的问题。最终用户关心的是界面是否友好、自己的隐私是否被侵害以及系统对人的身体有无伤害等等。尽管由于出发点不同而使考虑问题的侧重点有所不同，有一件事是共同的，那就是生物自动识别技术正受到越来越多的关注。

- **生物识别技术可以被应用于各种应用中并且正呈现出不断上升的市场发展趋势**

任何有人机交互的地方都可以加入生物识别技术。目前生物识别技术被用于计算机平台、计算机网络、银行、移民管理、刑侦、电信网络、员工出勤监控等方面。所有这些应用都有一个共同特点，就是

与人有关。政府在促进生物识别技术的应用中扮演了重要角色。公民身份识别、选举投票系统、福利发放系统都在采用和考虑采用生物识别技术[42]。据市场调查权威机构 CardTech/SecurTech 进行的一项针对灵通卡和安全技术的调查表明，全球的生物识别技术安全产品的销售额从 1992 年开始稳步上升（图 1-1）。该机构还预测 1999 年销售额将会大幅增加（统计数据不包括对刑侦行业的销售额）。销售额的增长部分地源于对网络安全性的需求的增长及生物识别技术产品成本下降和准确性提高[46]。

Biometric technology sales(millions of dollars)

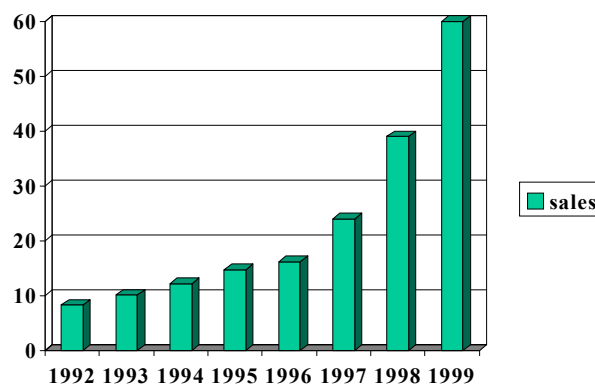


图 1-1 生物识别技术产品的销售额增长趋势

1.2 使用掌纹作在线身份验证的思路的由来

研究自动化掌纹识别的想法最初是受到指纹识别和手的几何特征识别的启发。最初人们选择指纹作自动识别是因为它面积小，可靠性

高，有多年在刑侦领域应用的经验。但是指纹识别发展了一段时间以后出现了一些问题，一些人天生指纹模糊不清，另一些人由于长期从事体力劳动磨光了指纹，所以自动化指纹的识别并不是对所有的人都有效。而选择手的几何特征作识别的最初想法是数据获取简单、算法容易。但是依据手的几何特征作判别效率不高，误判率很高。于是人们开始寻找新的途径，一些原来在刑事侦查中用到的方法纷纷被找出来用作身份识别的尝试。眼睛、人脸、声音、耳朵等特征都先后被用作识别，并且现在仍有人在从事这些方面的研究工作。想到掌纹的识别是因为掌纹皮肤与指纹具有相同的特性，并且面积比指纹大得多，因此似乎应该比指纹更有效。而且掌纹上还有一些粗大纹理不易被磨损。对于东方人来说，掌纹并不陌生，对掌纹的观察可以向前追溯几千年。同时，研究掌纹识别还可以促进其它特征识别的研究，并能引发关于掌纹诊病、掌纹预测的自动化研究。

1.3 掌纹的古典应用

对掌纹的研究最初起源于手相学。手相学起源于中国和印度，经印度传向西方国家。中国手相学早在周王朝就已经有了萌芽，而后逐步有所发展并渐趋成熟。初期的手相术大概由先期兆占启发而衍申出来。而手纹学的形成是通过统计学的数据，经过好几代甚至几十代人的经验积累和艰难探索，才逐步发展起来的。

周末之时，手相占测之术已初具规模。同时，我国阴阳五行学说、八卦学说等古代哲学也在这一时期逐渐形成。手相占测之术在经验的

积累过程中巧妙地融进了这些哲学思想，从而逐步理论化和系统化。同时，手相也被用来预测和诊断疾病。我国第一部医学著作《黄帝内经》中就有好多处涉及到手相测病的记载。

从下面一个具体事例可以看出手相学、面相学曾在社会上盛行的程度。春秋末年，一次孔子和学生子贡一起出卫国东门，正好迎面走来当时赫赫有名的相术家姑布子卿。一番打量之后牵着子贡衣袖悄悄问道：“和你走在一起的是什么人？”子贡回答说：“是我的老师，鲁国孔丘，你看他怎样？”姑布子卿略一沉吟，即便说到：“从孔子的长相看，得尧之颈，舜之目，皋陶之喙。从前面看去，盎盎然有王者之相，从背后望去，高肩弱脊，是他不及四圣的地方。”说完犹豫了一下，终于又补充了一句：“远而望之，羸乎若丧家之犬。”后来子贡把话告诉老师孔子，孔子在说了一通挽回面子的话之后，不禁深深长叹：“姑布子卿从神态着眼，说得真是再对也没有了。”

虽然我国手相的产生和形成比较早，但著书立论则比较迟。从现有的资料查证，我国最早有关手纹学的零星著述大概要数后汉大学问家王充。王充《论衡》所载《骨骼篇》，是我国最早一篇关于相学的专著。同时期稍晚于王充的，有后汉王符所著《列相篇》。此后，传为三国无名氏著《月波洞中记》、隋朝来和著《相经》十四卷。尽管这些著述难免带有较多的封建迷信色彩，但相学的发展由此可见一斑。

印度的手相术的产生早于中国手相学。印度古文书中手相学遗籍，今尚存诸印度婆罗门教徒之手和诸寺院中，为印度国宝之一。全书有

百余幅图解，都解释了手纹、手印。由此证明，早在数千年前的古印度已有了手相术的芽苞。

印度手相学由亚历山大大帝远征印度而传到欧洲；另一方面，又随佛教东渐而流入东亚，与中国手纹学彼此交融，紧密地连在一起。当时希腊大哲学家耶基斯哥拉斯和亚理斯多德等，都曾苦苦研究过手相，并留下不少记载。亚理斯多德的研究，来自于实际。他在看过无数人的手相后，把其中所得的经验加以归纳，从而总结出第一流的手相法则——《亚理斯多德手相术》。此书至今珍藏在英国国立图书馆，是今天西洋手相的源头。

二十世纪五十年代初期，产生了新手相学派，它吸收了中国手相学、印度手相学、欧洲手相学、日本手相学、吉普赛手相学的精华，并把人格心理学、发展心理学、病态心理学、病理学等知识跟手相知识结合起来，从而提高了手相学的档次，使之成为一门崭新的学科[1][2]。

虽然手相学的研究与用掌纹作身份识别的目的不同，但它们关注的对象都是人的手掌。手相学的论著记载着人类对掌纹数千年的观察统计结果，其中有关手掌的分类、点、线、颜色特征的描述都对掌纹识别有很大帮助。

1.4 自动化掌纹识别的发展

用掌纹作身份鉴别起源于刑事侦查，历史大概有百余年。由于任意两个人的掌纹都不相同，所以可以利用掌纹来寻找犯罪嫌疑人。而

基于计算机的自动化掌纹识别才刚刚开始，最早的一篇比较详尽的报道是清华大学自动化系束为的博士论文。该文中主要讲述了掌纹特征的自动提取方法。定义了掌纹的点特征（细节特征点和奇异点）和线特征。提出了在高分辨率捺印掌纹图像中用间接法提取掌纹点特征和在低分辨率捺印掌纹图像上用方向投影法提取线特征的方法。并定义了掌纹的中心点，提出了依据掌纹主线特征提取的中心点定位方法。尝试了掌纹的自动分类和自动鉴别。并提出了设计联机掌纹输入设备和开发在线掌纹识别系统的想法。

本文的工作是在束为的工作基础上展开的。首先，我们利用原有的捺印掌纹库重新测试了束为提出的特征提取算法，发现了该算法在大规模应用中存在的问题，试验了基于纹理分析的特征提取方法，提出并实现了基于低分辨率捺印掌纹的掌纹自动定位和对齐算法。即而，设计制造了第一台联机低分辨率掌纹输入设备并开发了一个在线掌纹验证和识别系统。在研制系统的过程中，提出了低分辨率下掌纹的特征模型和特征提取方法，应用神经网络的方法试验了基于多个彼此关系不明确的特征的分类判别方法，并用概率统计分析的方法分析了系统由试验数据集向实用系统推广时的效率可信度的确定问题。

1.5 小结

本章着重介绍了论文研究的背景情况，包括生物识别技术的崛起与发展、掌纹识别的发展历史及自动化掌纹识别在人的身份鉴别中的位置。从而揭示了掌纹识别研究的必要性和重要性。目前，由于各类安

全系统的需要，基于人体特征进行身份鉴别的生物识别技术正在受到越来越多的关注。指纹、声音、人脸、虹膜等领域的研究得到了长足的发展。但是现实世界的对安全性的需要是多种多样的，至今还没有一种生物识别技术能够满足所有系统的所有需求。所以在对已经存在的技术进行推进研究的同时，人们正在试图尝试各种新技术。非自动化掌纹识别已存在多年，古老的中国和印度在掌纹研究中更是积累了丰富的经验。虽然以往的应用更偏重掌纹看相和掌纹诊病，但在看相和诊病的过程中有很多宝贵的经验可以借鉴到自动化掌纹识别中来。自动化掌纹识别研究起步较晚，至今只有清华大学的束为在他的博士论文中对掌纹识别做了比较系统的研究，但他的研究只是对脱机掌纹识别进行了初步尝试，更深入的研究还有待开展。本文就是在这样的背景前提下开始的。

第 2 章

自动化掌纹识别研究的含义

在寻找一个问题的解决方案之前，关键的是搞清楚所面临的问题是个什么问题。掌纹已经被人类关注很久，人们根据掌纹来研究疾病的早期诊断、判断人的性格倾向、寻找犯罪嫌疑人等。但自动化掌纹识别的研究起步较晚，尽管前人做了一些掌纹特征提取的尝试，但是就自动化掌纹研究本身没有深入的讨论。到底这项研究要达到什么样的目的？研究的范畴是什么？已有的和潜在的方法有哪些？此项研

究的关键问题和难点在哪里？对这些问题的回答仍很模糊。本文针对这些问题，把掌纹识别研究本身作为一个研究对象，剖析了掌纹识别的研究目的、研究的主要内容、研究的基本方法、关键问题和难点，从而为促使自动化掌纹识别研究走出图像处理和模式识别范畴而形成独立的研究分支做了必要的铺垫。本章所讨论的内容对生物识别技术研究的整个领域都是有意义的。

2.1 研究目的

人能用肉眼识别两只手掌的不同，判断两幅图像上的掌纹是否来自同一只手，而自动化掌纹识别研究的目的在于让计算机学会认识并区分不同的手掌。自动化掌纹识别的优势在于可以利用计算机容量大、速度快的特点在大量的掌纹图像中迅速找出目标手掌或实时判断某个手掌是否与注册记录中的手掌相同，从而为刑事侦查、银行或海关等部门的身份验证、以至万维网上的身份鉴别提供底层的技术支持。

2.2 研究内容

自动化掌纹识别包括数据采集、特征提取、特征比对和结论给出四个过程。这四个过程不是彼此独立的，而是互相联系的。采集到的数据的质量直接影响到特征提取的效率和难度，甚至影响到应该定义什么样的特征集。特征的比对直接依赖特征提取而结论的给出不仅依

赖特征提取和特征比对，还跟具体的应用系统有关。反过来特征的定义也会影响到究竟采用什么样的设备和手段来采集数据，尽管数据的采集方式有时受人机交互硬件发展的制约。所以在研究的过程中应时时想到最终的目标，将全过程综合考虑，才会取得比较满意的效果而不会走进死胡同。当然，就某个细节的研究也是必要的，因为一旦取得好的结果将影响全局的设计。在线掌纹识别研究中有如下的内容需要进一步的研究：

2.2.1 采样

采样研究的是如何将活体掌纹输入到计算机中的问题。这是整个识别过程的第一步，也是至关重要的一步。采取什么方式采集和采集到的原始数据以何种形式存储根本决定了特征的提取和判别的方式。对这一问题的研究可以结合生物测定学和人机交互等学科的发展来考虑。任何一样新的计算机输入技术都可能带来全新的识别过程。目前的掌纹采集主要有以下几种方式：

● 脱机采集：

脱机采集方法之一是指先将手掌涂上油墨，再将涂了油墨的手纹印到白纸上，然后用扫描仪将纸上的掌纹输入到计算机中以二维数字灰度图像的方式存储起来。这种采集方式一般可以达到比较高清晰度的图像。但是图像的质量与着墨的程度和捺印的力度有关，由于存在人

为的因素而不容易获得质量相同的掌纹图像，给自动化掌纹识别带来很大的难度，因为要纠正因图像着墨不均带来的误差。

目前采用的捺印掌纹方式有两种：**手心向上**和**手心向下**。手心向上是将手掌自然张开涂上油墨，用一张白纸轻轻地盖住手掌以取得完整的掌纹图像（图 2-1）。这种方式可以采到手掌掌心的纹理。手心向下是指将手涂上油墨以后，手心向下按在平铺着的一张白纸上。这种方法会使手掌纹理有一些变形，对一些掌心凹陷的手掌会取不到掌心部分的掌纹（图 2-2）。手心向上的方法主要在医学诊病中应用较多[3]，手心向下的方法是束为的论文中采用的[4]。

脱机采集方法之二是用脱机照相的方法先将掌纹拍照，再将照片扫描输入计算机。这种方法采集的图像分辨率不高，但是可以获得彩色图像（图 2-3），而且采集比较方便。目前王晨霞的掌纹诊病方法中就是用这种方法保留病例的[5]。



图 2-1 手心向上捺印掌纹图像 图 2-2 手心向下捺印掌纹图像



图 2-3 光学相机彩色掌纹图像

● **联机（在线）采集：**

总的来说联机采集比脱机采集实施起来要方便。而且采集的图像质量比较稳定。联机采集的方法有两种，利用扫描仪直接输入和利用数字摄像机实时拍照的方法。利用扫描仪输入可以获得比较高分辨率的图像但是会引起掌纹变形和掌心与掌的边缘分辨率不一（图 2-4）。利用数字摄像机实时拍照的方法获得的图像分辨率不高，不过可以保持手掌的三维曲面信息（图 2-5）。

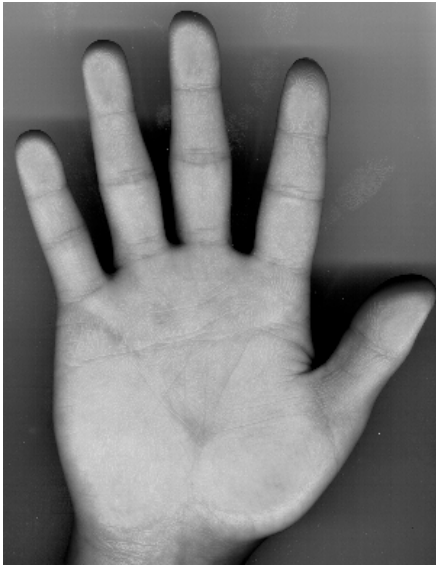


图 2-4 扫描输入掌纹图像



图 2-5 数字相机联机掌纹图像

2.2.2 建库

对于掌纹识别研究来说建库的目的是要提供一个研究如何发现掌纹特征和如何改进特征提取和比对算法的实验基础。掌纹库的建立要考虑的因素包括不同的采样方法、不同的样本人群（地域、种族、年龄、职业等）、同一群体不同的取样时间（绝对的时间序列、不同身体状况下的时间序列等）。在这样的一个数据库上研究掌纹识别的问题就变成了如何将掌纹聚类的问题，即将来自不同手掌的掌纹图像聚成不同的类，而将来自相同手掌的掌纹图像聚成一类。

建立数据库的另一个考虑是研究在一个很大的数据库上加快查找的效率。也就是说采用何种特征建立怎样的索引机制来迅速缩小查找范围而逼近直至确定查找目标。

目前，尚未出现公开的掌纹数据库。已知王晨霞用脱机拍照的方

法搜集了近十三万病例的彩色照片，但尚未数字化。我们计划近期公开自己建立的掌纹数据库。

2.2.3 特征模型及特征提取

要区分不同的掌纹，就要搞清不同的手掌的掌纹有什么不同以及相同的手掌的不同次取样掌纹会保持什么样的不变性。这个问题可以描述成存在一个掌纹的特征模型，每一个掌纹在该模型下的取值构成该模型的一个实例。存在一个计算实例之间距离的算法使得来自不同手掌的掌纹特征实例距离较大，而来自同一手掌的掌纹特征实例距离为零或较小。那么寻找问题的解决方案的过程就变成如何寻找特征模型，如何在该模型下将原始的掌纹图像实例化和如何定义实例之间的距离。反过来讲平常说的特征提取就是这里的实例化，特征比对就是这里的计算实例间的距离。

特征模型的提出和验证应本着大胆假设、精心求证的原则。即模型的提出需要一定的想象力，而模型的正确性可以通过最终判断的准确性来验证。当然模型实例化的难易程度也是需要考虑的因素。

特征模型的建立是与原始数据有关的，不同数据下的特征模型可能完全不同。例如，束为在[4]中建议的点特征适合在高分辨率图像下提取，而[4]中建议的主线特征适合在低分辨率图像下提取。在本文中我们建议了基于联机低分辨率下的掌纹特征模型。详细定义见5.1。

2.2.4 特征比对及判定方法

如果我们经过特征提取能将每个掌纹映射到数轴上的一点，而来自不同手掌的掌纹得到的点在数轴上距离较大，来自相同的掌纹的点距离很小，那么特征比对只是简单的数值比较。但是，事实上目前的特征提取并没有作得这样好，有一些特征提取只是图像数据量的减小。比如特征提取得到的结果仍然可能是图，那么就需要研究如何测度图与图之间的距离即研究图的相似程度的测度。在这一方面有一些关于图像、图形比对的研究[39-41]。

还有一些情况下，我们使用了多个特征，每种特征自己并不能完全对样本作分类，而是要综合这些特征一起作判断。那么就存在如何综合的问题，比如要研究诸如每种特征在判断中起多大的作用，特征之间的组合是线性的吗，之类的问题。在这方面很多人尤其是模式识别领域的研究者建议了不同的方法[24][26]，如神经网络的方法。本文尝试了用一种新的网络系统进行样本学习和判断的方法。详细内容请参阅第6章。

2.2.5 实验结果的推广问题

这是一个从前被人忽视的问题。我们在试验样本上作了种种实验，取得了很好的结果，然而该项实验方法在推广到更大的样本空间上时，是否效果还是一样的好？如果不是，那么推广的可信度是多少？试验样本的容量与推广的可信度之间存在怎样的关系？反过来说，如

果想要得到一定样本容量上的可信度，试验样本的容量应该是多大？这些问题在所有的模式识别问题中都存在，值得作深入的探讨。本文把这一问题作为研究内容之一加以重点讨论。详细讨论请参阅第 8 章。

2.3 基本的研究方法

总的来说，掌纹识别的研究也遵循一般的研究路线，即搞清目的、摸清情况、找出问题、求解答案。具体地说自动化掌纹识别研究的目的是找出用掌纹区分人类个体的办法。而寻找办法的过程是一个不断试验的过程。基本的研究方法是根据文献记载和大量观察，假想出一个最初的特征模型和判别方法，然后寻找合适的输入设备，采集一定数量的样本，试验最初的方法，如果试验效果不理想，找出原因，改进输入设备和特征模型，继续实验，直至达到理想的效果。当有了最初在特定样本上的成功模型之后，增大样本容量。并就方法在实用中可能出现的问题作探讨，直至系统达到实用的目的。

2.4 关键问题和难点

分析关键问题和难点的目的在于把握方向，寻找突破口和生长点。自动化掌纹识别研究的关键问题在于有效特征的发现和特征模型的确立。另外，输入设备的局限也是一大问题。

掌纹研究的古籍中记载的掌纹的特征丰富多彩，但并不是所有的

特征都能提取出来，也不是所有的特征都适合用来识别人类个体，而且可能已被记载的特征不足以用来识别个体。那么就需要发现一个在一定输入条件下可行的特征模型，用来作个体的识别。之所以说要发现特征是因为在实验成功之前，我们并不知道已知的特征能否被提取出来，在实验过程中我们是否可以受到某种启发而发现新的特征，甚至也不知道掌纹到底能不能用来作人体身份鉴别，如果能的话，把握有多大。所以说整个的研究过程是一个不断发现的过程。

输入设备之所以成为关键问题之一是因为掌纹识别的目的之一是要认出某个人今天是他，明天是他，后天还是他。所以采样的稳定性对识别显得分外重要。而由于光源变化、人的变化及人与机器交互方式的变化都会引起采样质量的变化，如何尽量减少这些变化对采样的影响是输入设备研究的一大难题。

2.5 小结

本章将自动化掌纹识别本身作为研究对象，系统分析了本项研究的目标、内容、关键问题和难点。明确指出自动化掌纹识别研究的目的在于让计算机能够自动地识别人类个体，从而为自动化身份鉴别在各类安全系统中的应用提供技术保障。研究的内容包括样本采集的方法、特征提取和比对方法、判别方案的选择等。其中，如何设计稳定有效的输入设备是问题的基础，而如何定义掌纹上的特征模型是问题的关键。本章的分析不仅对本论文的研究具有指导意义，而且反映了生物识别技术作为一类研究所存在的共同问题，对整个领域的研究都具有启发意义。

第 3 章

相关理论的发展

尽管目前从事自动化掌纹识别的人不多[80-84]，但是掌纹识别的研究者并不孤独。有很多领域的研究都与掌纹识别有关系，它们的研究成果可以借鉴到掌纹识别的研究中，而且掌纹识别的研究可能会给这些领域提出新的问题或给予新的启示。我们着重关注以下学科的发展。

3.1 图像处理与分析

从图像处理的角度看，掌纹识别的过程包括图像获取、图像预处理、特征提取（线特征、点特征、轮廓特征）和特征比对。其中图像获取是将掌纹以捺印后扫描或联机照相的方式存储成为数字化图像的过程。这一过程关心的问题是获取清晰的无畸变的掌纹图像，它主要与掌纹获取方式和硬件设备有关。图像预处理主要包括去除噪声、纠正畸变和朝着有利于特征提取的方向改善图像质量。对于掌纹识别来说，特征提取的目的是用尽可能简单的方式描述掌纹的特征，这些特征应满足对于同一只手来说是稳定的，对于不同的手来说是差异很大的。特征比对是指对于来自两个图像的特征集合，计算其相似性并依据相似程度做出判断 - 它们是否来自同一只手。图 3-1 给出了掌纹的初始图像。

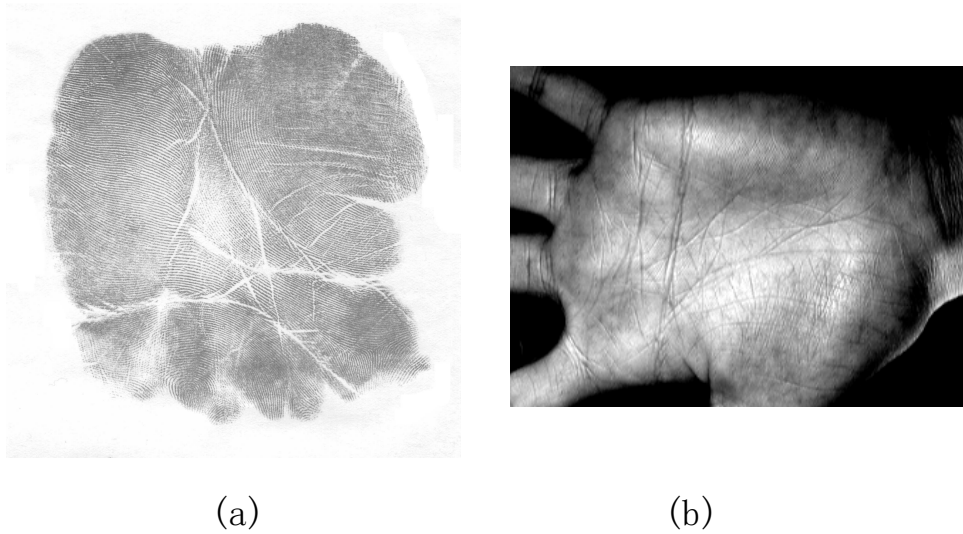


图 3-1 掌纹初始图像 (a)脱机掌纹 (b)在线掌纹

在整个过程中，主要涉及到图像变换、图像增强、边缘提取、轮廓跟踪和特征描述等图像处理方法：

3.1.1 图像变换

图像变换是图像处理的基本手段之一，可以应用到图像处理的不同问题中。图像变换的基本含义是假定有图像 $\{f(x,y)\}$ ，定义变换算子 ζ ：

$$g(x,y) = \zeta[f(x,y)] \quad (3-1)$$

它将 $\{f(x,y)\}$ 转换成 $\{g(x,y)\}$ 。图像变换的目的是将图像转换到其它的空间以便发现特征和进行各种处理。常见的变换有傅立叶变换、Discrete Cosine 变换、Karhunen-Loeve 变换[155-162]、Walsh 变

换[143-149]、Hadamard 变换[143][150-154]等等。这里我们主要叙述一下傅立叶变换和 Discrete Cosine 变换。

傅立叶变换

傅立叶变换是图像处理中应用最广泛的一种变换。先后有很多文章和书籍中论述过该变换的实现和应用[127-143]。它主要应用在图像增强和特征提取中。

傅立叶变换包括正变换和逆变换。正变换是将图像从空间域转换到频率域的变换，逆变换是将频率域转回到空间域的变换。二维离散的傅立叶正变换的公式如下：

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n) \exp[-j2\pi(\frac{mu}{M} + \frac{nv}{N})] \quad (3-2)$$

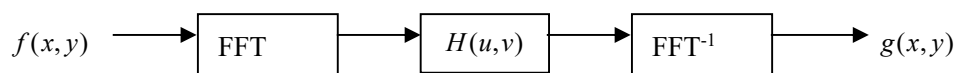
其中， $\{f(m,n)\}$ 是 $M \times N$ 的图像矩阵， $j = \sqrt{-1}$ ， $u = 0,1,\dots,M-1; v = 0,1,\dots,N-1$ 。

傅立叶逆变换的公式如下：

$$f(x,y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} F(u,v) \exp[j2\pi(\frac{mx}{M} + \frac{ny}{N})] \quad (3-3)$$

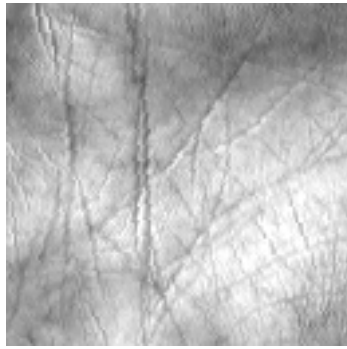
关于傅立叶变换的计算在[173]中有比较详细的介绍。

利用傅立叶变换作图像处理的一般过程可以描述如下：

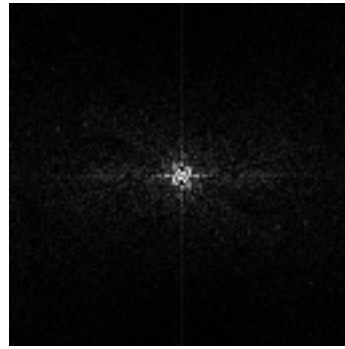


其中， $f(x,y)$ 是原始图像，FFT 是傅立叶正变换， $H(u,v)$ 是在频率域空间的某种变换， FFT^{-1} 是傅立叶逆变换， $g(x,y)$ 是处理过的图像。常用的 $H(u,v)$ 有高通滤波、低通滤波等。因为图像中噪声通常表现为高频，所以在频率域滤掉高频有去噪的效果。而图像中的边界一般表现为高频，平滑的地方表现为低频，所以滤掉高频可以使图像变得平滑而滤掉低频可以使边界锐化。图 3-1 显示了掌纹图像的功率谱和经高通滤波、低通滤波后的图像。

对于掌纹识别来说，傅立叶变换可以用来做特征提取。如图 3-2，掌纹图像在频率空间表现出来的特征为：掌上的纹理越清晰，高频的信息越丰富；掌上的纹理方向性越强，在与纹理垂直的方向上高频信息越丰富。因此如果用极坐标 (r,θ) 表示频率域的坐标，可以用频率沿 r 的变化趋势描述纹理的强弱变化；用频率沿 θ 的变化趋势描述纹理的各个方向上的强弱变化，见图 3-3。



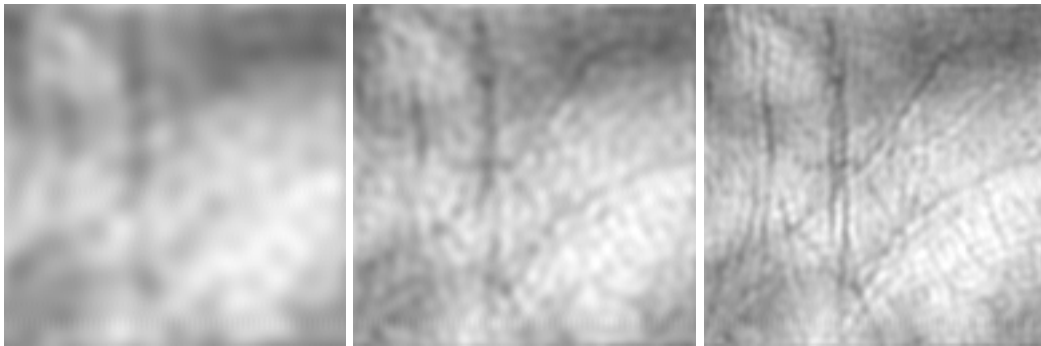
(a) 原始图像



(b) 功率谱

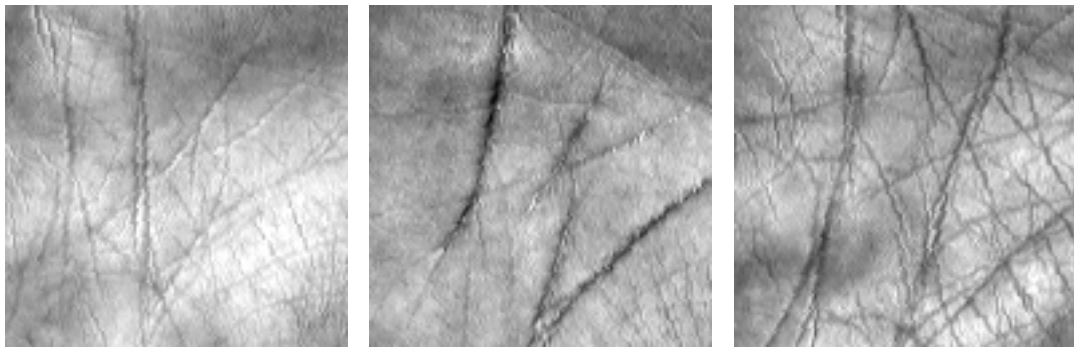


(c) (d) (e) 高通滤波 ($r > 0, 1, 2$)



(f) (g) (h) 低通滤波 ($r < 10, 20, 30$)

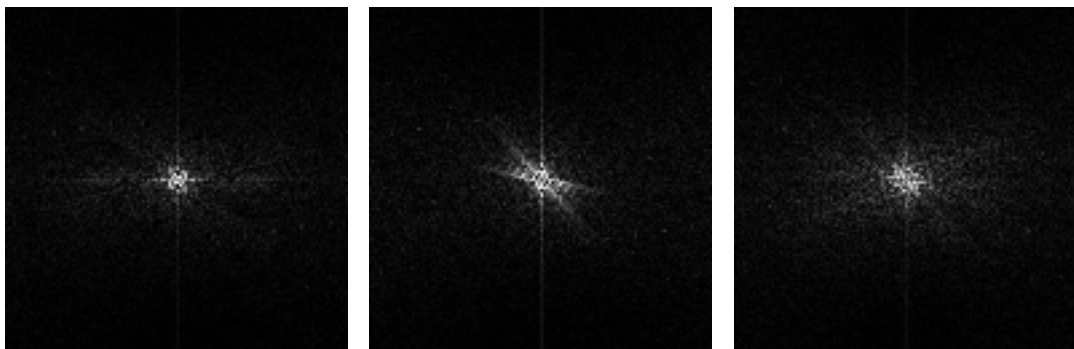
图 3-1 用傅立叶变换对掌纹图像作高通、低通滤波



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

(f)

图 3-2 不同掌纹的功率谱

(a, b, c 为掌纹图像, d, e, f 为功率谱)

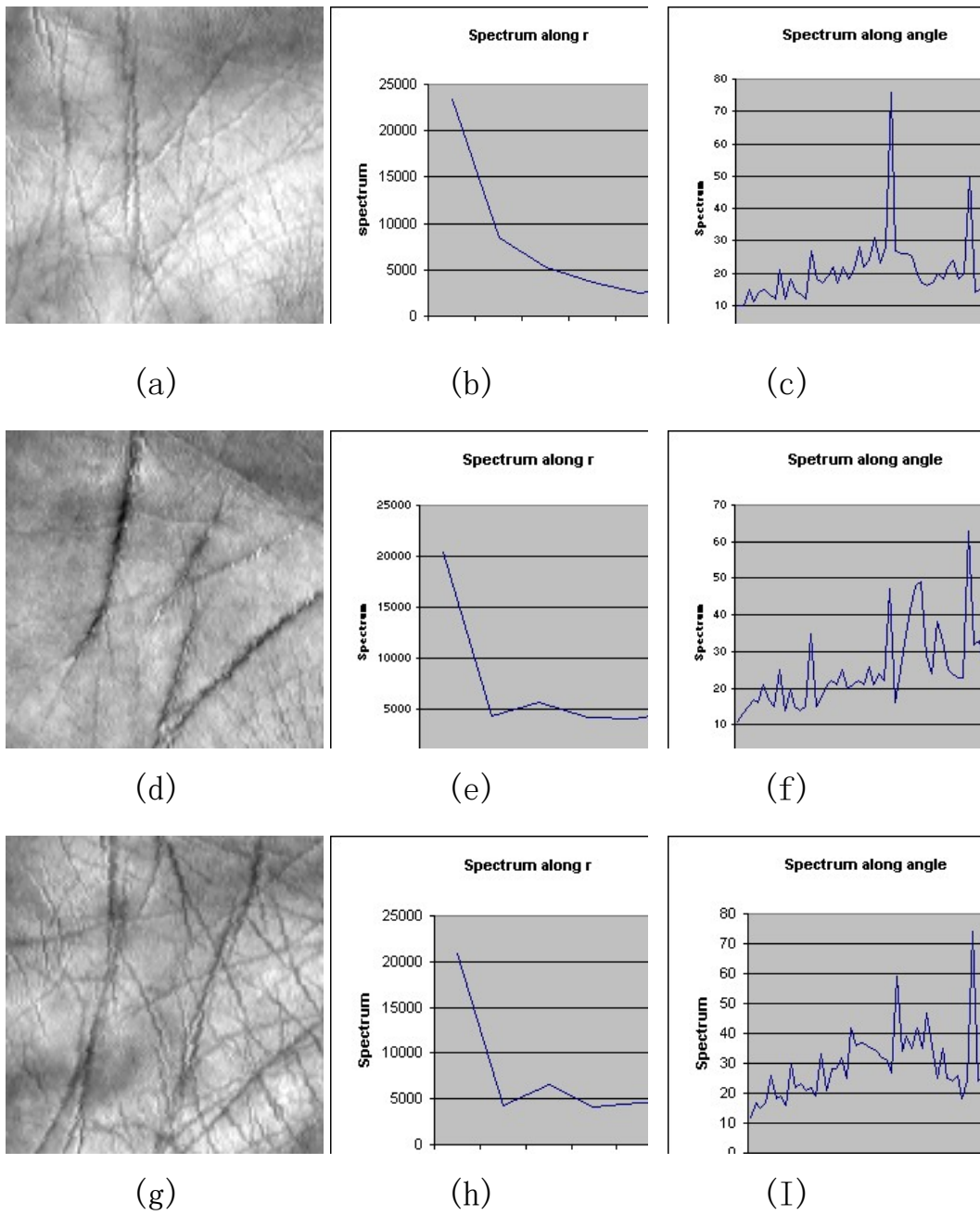


图 3-3 图像的功率谱沿半径 r 和方向 θ 的变化趋势

(a) (d) (g) 为原始图像，(b) (e) (h) 为沿 r 的变化趋势

(c) (f) (I) 为沿 θ 的变化趋势

Discrete Cosine 变换

Discrete Cosine 变换是由傅立叶变换演变来的，它只保留傅立叶变换的实部而去掉其虚部。这种变换被广泛应用到图像压缩技术中。

Discrete Cosine 变换的公式如下：

令

$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & \text{for } u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & \text{for } u = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases} \quad (3-4)$$

正变换

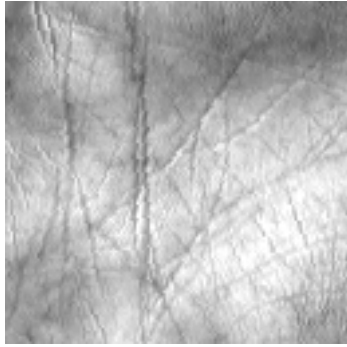
$$C(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (3-5)$$

其中， $u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 。

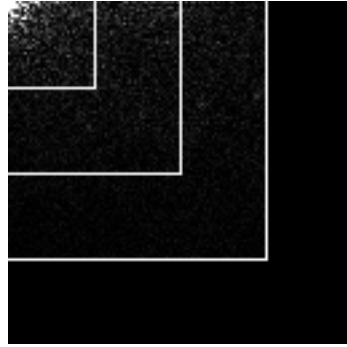
逆变换

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v) C(u, v) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (3-6)$$

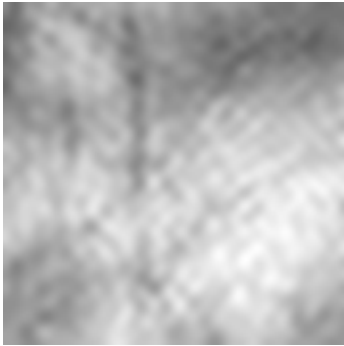
图 3-4 给出了应用 DCT 变换做在线掌纹图像压缩的结果。



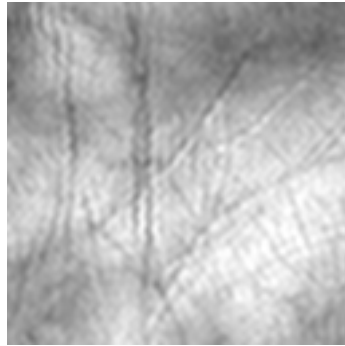
(a)



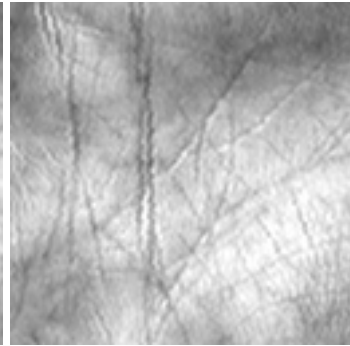
(b)



(c)



(d)



(e)

图 3-4 用 Discrete Cosine 变换进行掌纹图像压缩的结果

(a) 为原始图像

(b) 为变换后的能量分布

(c) 取 (b) 的左上角 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ 的数据恢复的图像

(d) 取 (b) 的左上角 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ 的数据恢复的图像

(e) 取 (b) 的左上角 $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$ 的数据恢复的图像

3.1.2 图像增强

图像增强的目的是去除噪声和改善图像质量以便更利于特征提取。图像增强的方法包括整体增强 (global enhancement) 和局部增强 (local enhancement)。整体增强是指根据整个图像的灰度分布情况对图像质量进行改善, 局部增强是指根据图像中每个象素点的邻域的局部灰度变化情况对图像进行处理。

整体增强主要思想是进行灰度变换。假设有一灰度为 0-255 的图像, 定义一个灰度变换函数: $y = f(x)$ 。其中, $x \in [0, 255]$ 为原图的灰度值, $y \in [0, 255]$ 为新图的灰度取值。常用的整体增强的方法是直方图均一化 (histogram equalization)。它是利用原图像的灰度分布直方图进行灰度分布的重新调整, 使得落在所有灰度等级上的象素点个数均等。对于灰度等级为 256 的图像, 灰度变换函数如下:

$$f(x) = 256 * \int_0^x h(r) dr - 1 \quad (3-7)$$

其中, $x = 0, 1, \dots, 255$ 。 $f(x)$ 为原图像中灰度 x 对应的新灰度值。 $h(r)$ 为原图像的灰度分布直方图, 即象素点落在不同灰度值上的概率分布。

在脱机掌纹图像处理中，由于着墨不均，得到的图像有的偏暗，有的偏亮，可以用直方图均一化的方法加以纠正。图 3-5 给出了用直方图均一化作掌纹图像增强的结果。

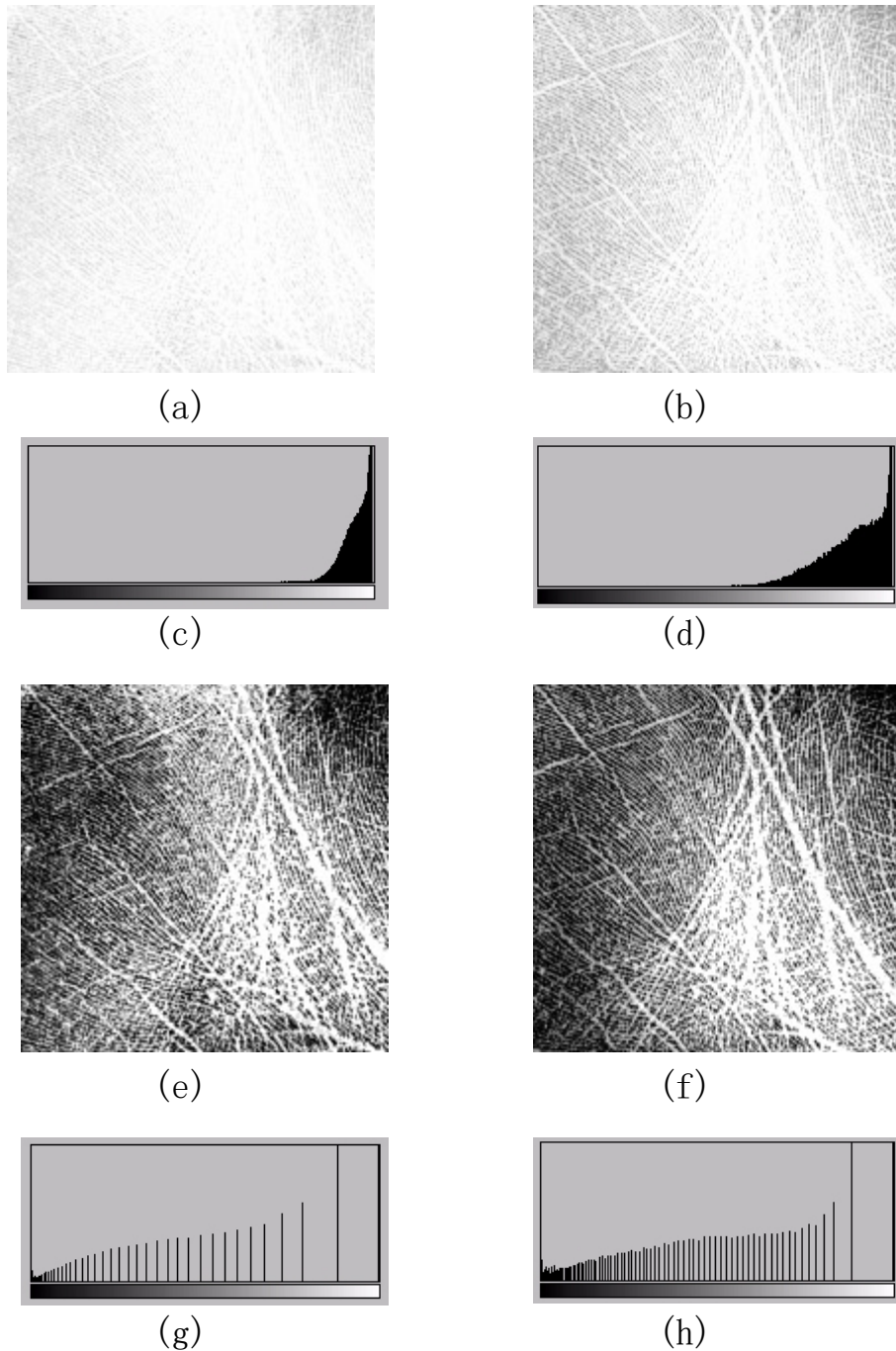


图 3-5 直方图均一化 a, b 原图 c, d 原图直方图
e, f 均一化图像 g, h 均一化图像直方图

局部增强的主要思想是根据象素点与其邻域的灰度关系重新调整该象素点的灰度，从而使图像质量得到改善。图像上某一点的灰度的新取值是该点及其邻域各点的灰度值的函数，为了计算方便，通常使用掩模来计算变换函数。例如，假设点 p_0 的邻域点为 $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8$ ，则

$$NewP = f(p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8) = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^8 p_i \quad (3-8)$$

可以用掩模：

$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$

表示。而

$$NewP = f(p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8) = 8p_0 - \sum_{i=0}^8 p_i \quad (3-9)$$

可以用掩模：

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

表示。

可以根据需要定义变换函数。在掌纹识别中的图像增强的主要目的是平滑图像和增强边缘的对比度。

平滑

平滑的方法主要有平均法、高斯平滑和中间值法。平均法是将像素点及其邻域的点的灰度值求平均值，以此平均值作为该点的新灰度值。高斯平滑是将像素点及其邻域的点加权求均值，越靠近该点权重越大。中间值法是将像素点及其邻域的点按灰度排序，排在中间的点的灰度值即为该点新的灰度值。在掌纹识别中，平滑方法可以用来去除细小纹理而保留粗大纹理，以便于粗纹理的提取。图 3-6 给出了脱机掌纹图像用这三种方法作平滑的结果。

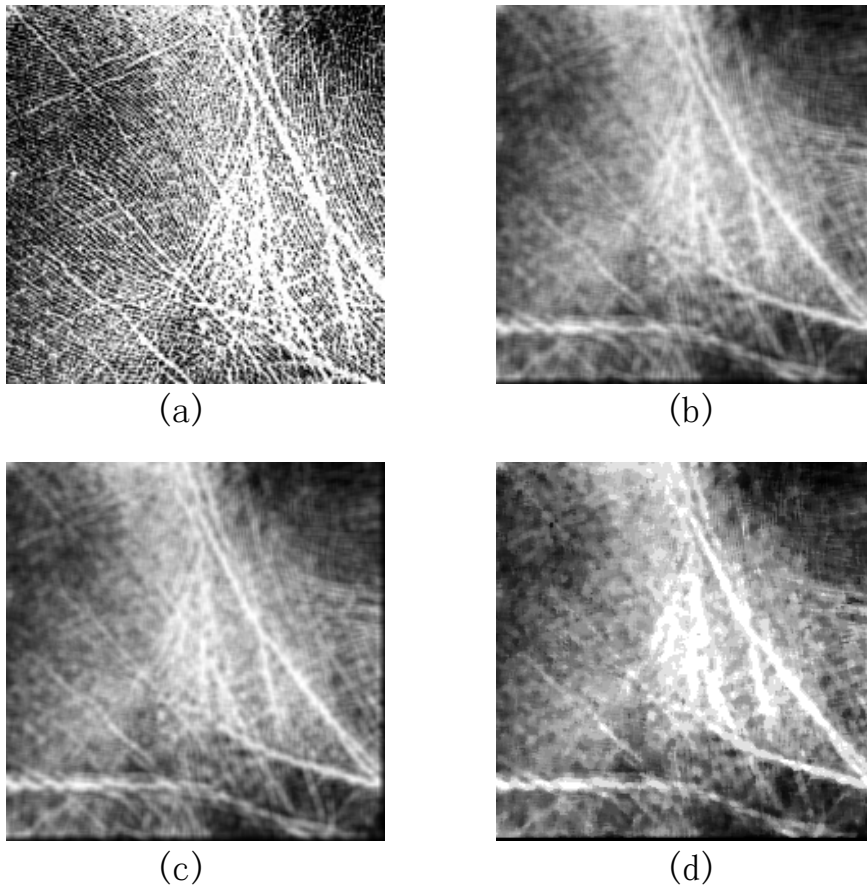
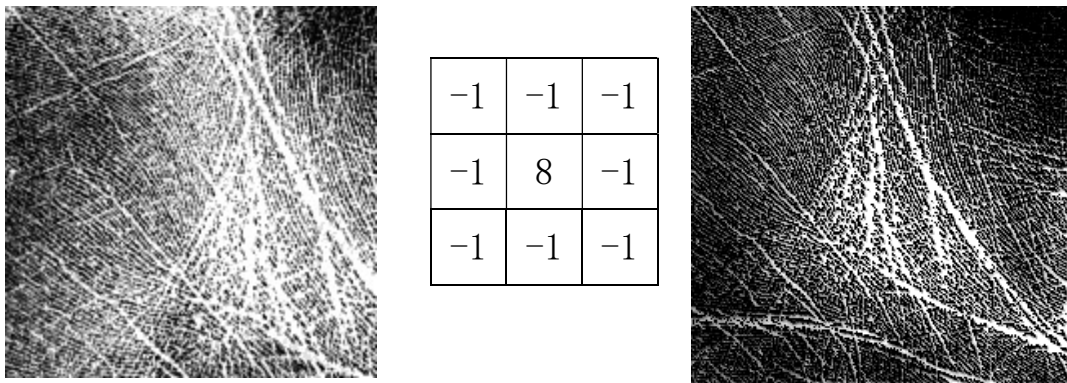


图 3-6 掌纹图像的平滑（掩模为 5×5 ）

(a)原始图像 (b)平均 (c)高斯 (d)中间值

锐化

在掌纹识别中，锐化的目的是为了突出边缘，这一过程常常与边缘提取一起考虑。常用的锐化模板有 Sobel、Prewitt 等。图 3-7 给出了用几种常用的边缘锐化掩模作掌纹图像增强的结果。



(a) 原图像

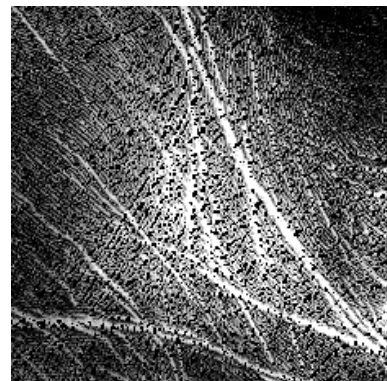
(b)

(c) 用 b 锐化结果

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	1
-1	0	1

(d) Sobel 边缘增强算子及结果



-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

(e) Prewitt 边缘增强算子及结果

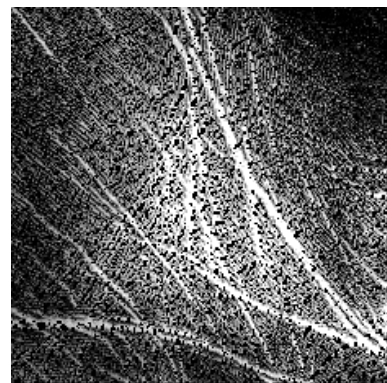


图 3-7 各种边缘增强方法对掌纹图像的处理结果

3.1.3 边缘提取

边缘提取的目的是为了找出图像中所关心的对象。对于边缘，我们采用徐建华在[18]中的描述。用 $f(x)$ 表示在某一方向上 x 点附近的灰度变化，那么两种边缘点附近的灰度函数及其导数如图 3-8：

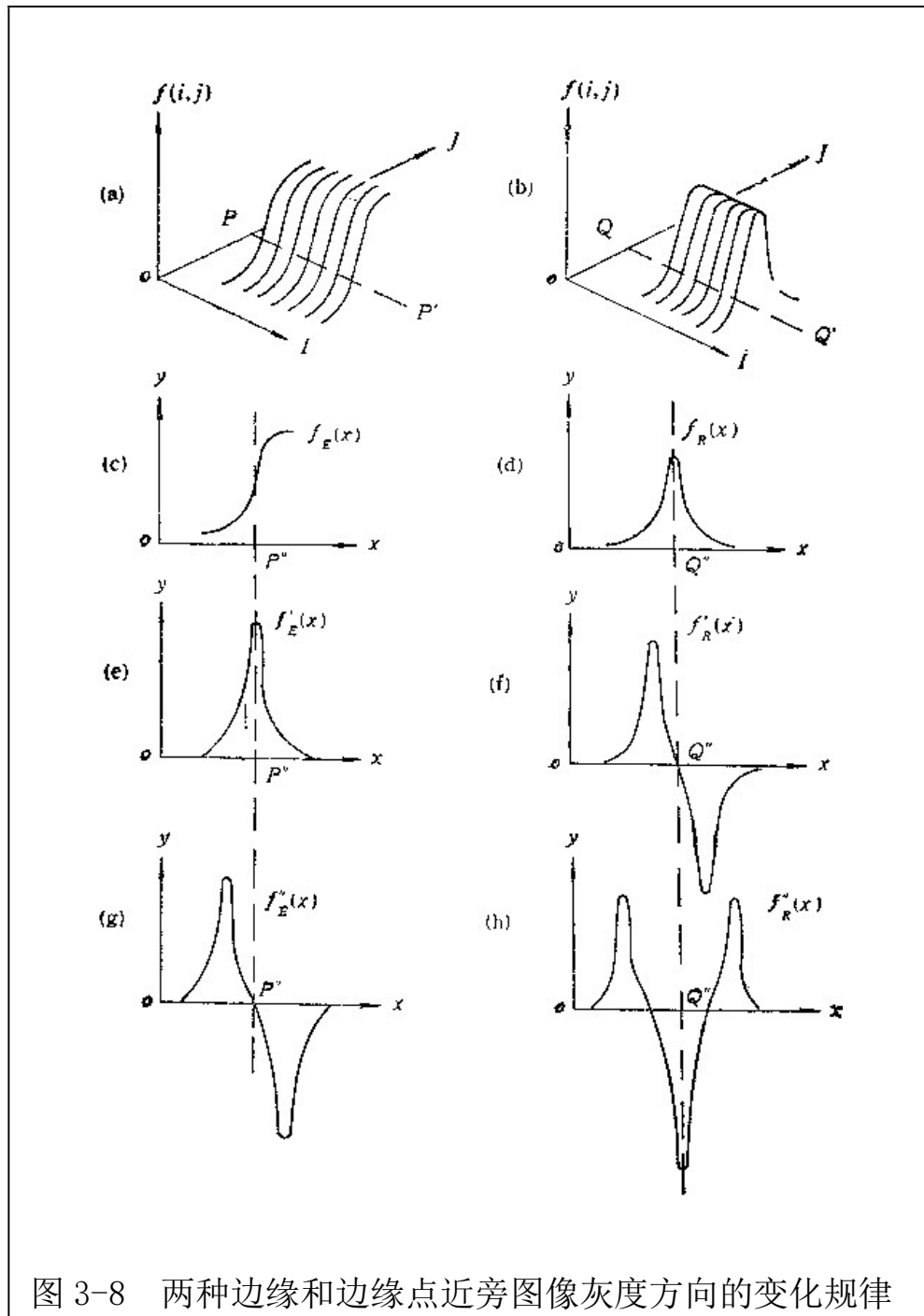


图 3-8 两种边缘和边缘点近旁图像灰度方向的变化规律

图 3-8(a), (b) 所示边缘是一种比较特殊的形式, 一般地说, 对于图像

曲面 $z = f(x, y)$, 定义它在 α 方向的方向导数在 (x, y) 点的值为

$$f'_\alpha(x, y) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x + h \sin \alpha, y + h \cos \alpha) - f(x, y)}{h} \quad (3-10)$$

式中 α 取顺时针方向, 由定义容易验证

$$f'_\alpha(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \sin \alpha + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \cos \alpha \quad (3-11)$$

二阶导数为

$$f''_\alpha(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \sin^2 \alpha + 2 \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x \partial y} \sin \alpha \cos \alpha + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \cos^2 \alpha \quad (3-12)$$

对于经量化和离散化而获得的数字图像, 这些微分符号均用差分符号来代替。定义数字图像在第 i 行 j 列的 x 方向、 y 方向、 α 方向的一阶差分分别为

$$\Delta_x f(i, j) = f(i, j) - f(i-1, j) \quad (3-13)$$

$$\Delta_y f(i, j) = f(i, j) - f(i, j-1) \quad (3-14)$$

经量化和离散化而得到式 (3-11) 的数字图像差分形式为

$$\Delta_\alpha f(i, j) = \Delta_x f(i, j) \sin \alpha + \Delta_y f(i, j) \cos \alpha$$

x 方向、 y 方向、 α 方向二阶差分分别为

$$\Delta_x^2 f(i, j) = \Delta_x f(i+1, j) - \Delta_x f(i, j) \quad (3-15)$$

$$\Delta_y^2 f(i, j) = \Delta_y f(i, j+1) - \Delta_y f(i, j) \quad (3-16)$$

$$\Delta_{xy}^2 f(i, j) = \Delta_x f(i, j+1) - \Delta_x f(i, j) \quad (3-17)$$

$$\Delta_{yx}^2 f(i, j) = \Delta_y f(i+1, j) - \Delta_y f(i, j) \quad (3-18)$$

式 (3-12) 中的差分形式为

$$\Delta_\alpha^2 f(i, j) = \Delta_x^2 f(i, j) \sin^2 \alpha + 2 \Delta_{xy}^2 f(i, j) \sin \alpha \cos \alpha + \Delta_y^2 f(i, j) \cos^2 \alpha \quad (3-19)$$

A. 几种常用的边缘检测算子

对阶跃边缘, 由图 3-8(e) 可见, 在边缘点其一阶导数取极值。由

此，我们对数字图像 $\{f(i,j)\}$ 的每个象素取它的梯度值：

$$G(i,j) = \sqrt{\Delta_x f(i,j)^2 + \Delta_y f(i,j)^2} \quad (3-20)$$

式中 $\Delta_x f, \Delta_y f$ 由式 (3-13), (3-14) 给出。

适当取门限 TH_g 作如下判断：若 $G(i,j) > TH_g$ ，则 (i,j) 点为阶跃边缘点， $\{G(i,j)\}$ 称为梯度算子的边缘图像。在有些问题中，只对边缘位置感兴趣，把边缘点标以“1”，非边缘点标以“0”，形成边缘二值图像。

Roberts 在 [163] 中对式 (3-20) 提出一种近似，称为 Roberts 算子：

$$R(i,j) = \max\{|f(i-1,j-1) - f(i+1,j+1)|, |f(i-1,j+1) - f(i+1,j-1)|\} \quad (3-21)$$

也可以用

$$G'(i,j) = |\Delta_x f(i,j)| + |\Delta_y f(i,j)| \quad (3-22)$$

作为式 (3-20) 的近似。

下面是几个简单的常用的边缘检测算子（对于算子的解释可以参见 [18]）， $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ 的定义见图 3-10：

Roberts 算子： $R(i,j) = \max\{|f(A_0) - f(A_4)|, |f(A_2) - f(A_6)|\}$

Sobel 算子： $S(i,j) = f1 + f2$

$$f1 = |(f(A_0) + 2f(A_1) + f(A_2)) - (f(A_6) + 2f(A_5) + f(A_4))|$$

$$f2 = |(f(A_0) + 2f(A_7) + f(A_6)) - (f(A_2) + 2f(A_3) + f(A_4))|$$

Laplacian 算子： $V^2 f(i,j) = f(A_1) + f(A_3) + f(A_5) + f(A_7) - 4f(i,j)$ （阶跃边缘）

$$L(i,j) = -f(A_1) - f(A_3) - f(A_5) - f(A_7) + 4f(i,j)$$
 （屋顶边缘）

Kirsch 算子： $K(i,j) = \max\{1, \max(5S_i - 3T_i)\}, i = 0 - 7$

$$S_i = f(A_i) + f(A_{i+1}) + f(A_{i+2})$$

$$T_i = f(A_{i+3}) + f(A_{i+4}) + f(A_{i+5}) + f(A_{i+6}) + f(A_{i+7})$$

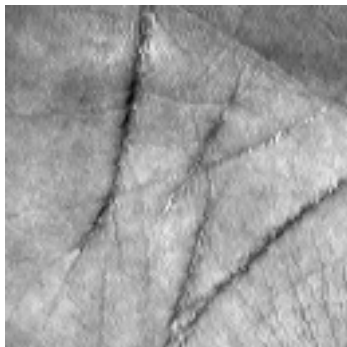
A_0	A_1	A_2
A_7	(i,j)	A_3
A_6	A_5	A_4

图 3-11 给出了用这四种算子对在线掌纹作线提取的结果。

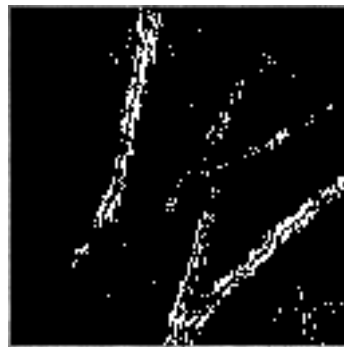
由于原始图像往往含有噪声而边缘和噪声在空间域表现为灰度有比较大的起落；在频率域则反映为同是高频分量，这就给真正的边缘检

图 3-10 邻域点的定义

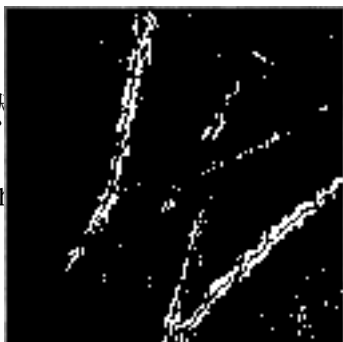
测带来困难。Marr[164]提出用二维高斯加权函数对原始图像作平滑，



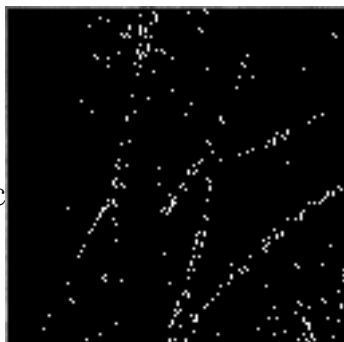
(a) 原始图像



(b) Roberts



(c) Sobel



(d) Laplasian



(e) Kirsch

然后在拟合曲面上作边缘检测。此外，还有用简单的鉴于邻域的边缘检测算子，对图像作初始的边缘检测，然后利用边缘基元之间空间分布关系来协调、增强初始检测的边缘的方法[169]，和用图像的锥体数据结构对诸层表示的图像用简单的算子作边缘检测，再由顶至底作边缘搜索的方法[170]。

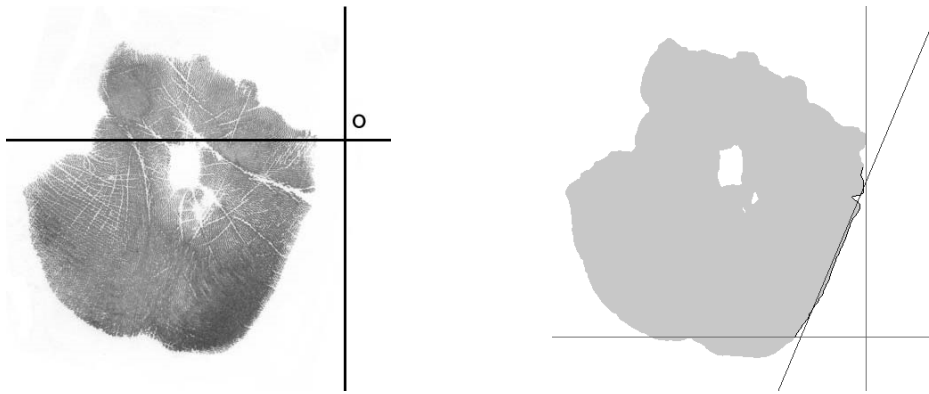
3.1.4 轮廓跟踪

在脱机掌纹识别和在线掌纹识别中，一个很重要的问题是掌纹的分割和定位。首先要判断在图像中哪一部分是背景，哪一部分是掌纹。我们在这一过程中使用的技术是轮廓跟踪。所谓轮廓跟踪是指先将图像根据灰度二值化，然后提取掌纹边缘轮廓。轮廓跟踪的基本思想是给定当前点和前一点，在当前点的邻居中从前一点的下一点开始顺时针或逆时针寻找与当前点灰度相同的第一个点。如图 3-12 所示，寻找下一点时搜索的顺序为 $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ 。

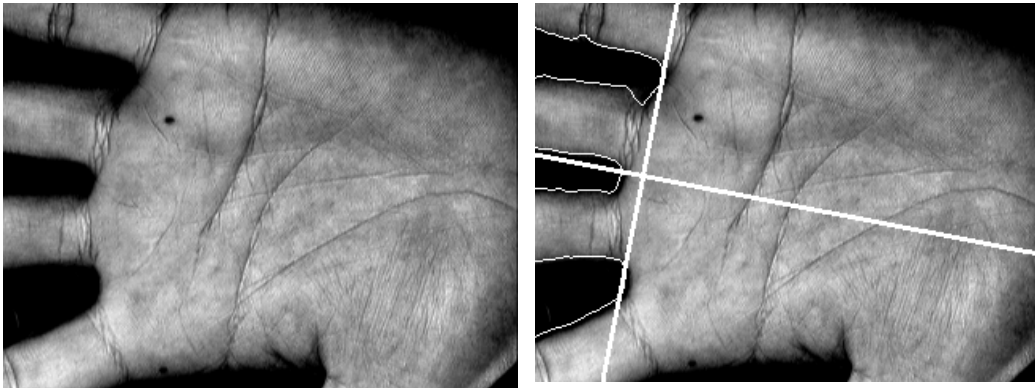
A_5	A_4	A_3
A_6	(i,j)	A_2
A_7	$I_{previous}$	A_1

图 3-12 轮廓跟踪的查找顺序

在脱机掌纹识别中，轮廓跟踪被用来寻找掌外边缘的方向，如图 3-13(a)。在在线掌纹识别中，轮廓跟踪被用来确定手掌的原点和方向，如图 3-13(b)。



(a) 脱机掌纹定位过程中用到的轮廓跟踪



(b) 在线掌纹定位过程中用到的轮廓跟踪

图 3-13 轮廓跟踪在掌纹定位中的应用

3.1.5 特征描述

在掌纹识别中，用边缘检测的方法检测到的线特征最初表现为点的集合，而且一条线上有很多点，如果用直线方程来描述这些点可以大大降低存储空间同时也利于线特征相似性的判断。最常用的求解直线方程的方法是 Hough 变换。

Hough 变换

这里我们仍旧采用徐建华在[18]对 Hough 变换的描述。在直角坐标系 OXY 中,任一直线 L 均可由参数空间 (ρ, θ) 中的一个点 (ρ', θ') 来表示:

$$x \cos \theta' + y \sin \theta' = \rho' \quad (3-23)$$

式中 (x, y) 是直线上任一点的坐标, ρ' 是原点到直线 L 距离。 θ' 是 x 轴与直线 L 的法线间的夹角 (见图 3-14)。式 (3-23) 表示 OXY 平面上任一直线 L 与参数空间 (ρ, θ) 中的一点 (ρ', θ') 对应。 OXY 平面上的一族直线 G 与 (ρ, θ) 空间中的点集 G' 来描述 OXY 平面上的直线族。

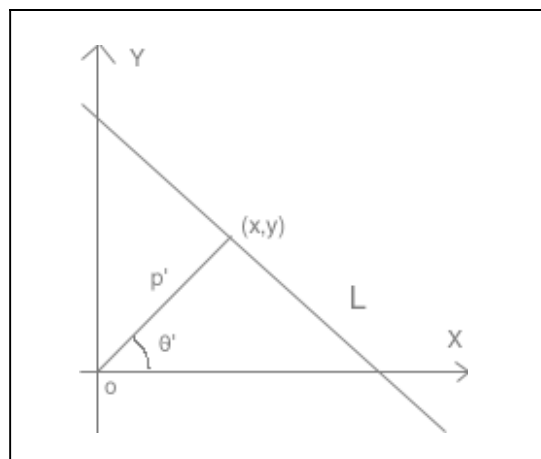


图 3-14 直线 L 的参数空间 (ρ, θ) 表示

基于这种思想,对于平面上的解析曲线, Hough 在[171]中首先提出现在称为 Hough 变换的区域外形边界变换的形状描述方法。文献[172]中提出了对于任意形状曲线的广义 Hough 变换方法,并推广了这一结果。 Hough 变换和广义 Hough 变换的目标是寻找一种从区域边界(空间域)到参数空间的变换,用大多数点满足的对应的参数来描述这个区域的边界。对于区域边界由于噪声干扰或一个目标被另一个目标遮盖而引起的边界发生某些间断的情形,寻找到了描述它们的有效方法。图 3-14 给出了用 Hough 变换对在线掌纹图像用 kirsch 算子提

取出来的点状图作直线拟合的结果。

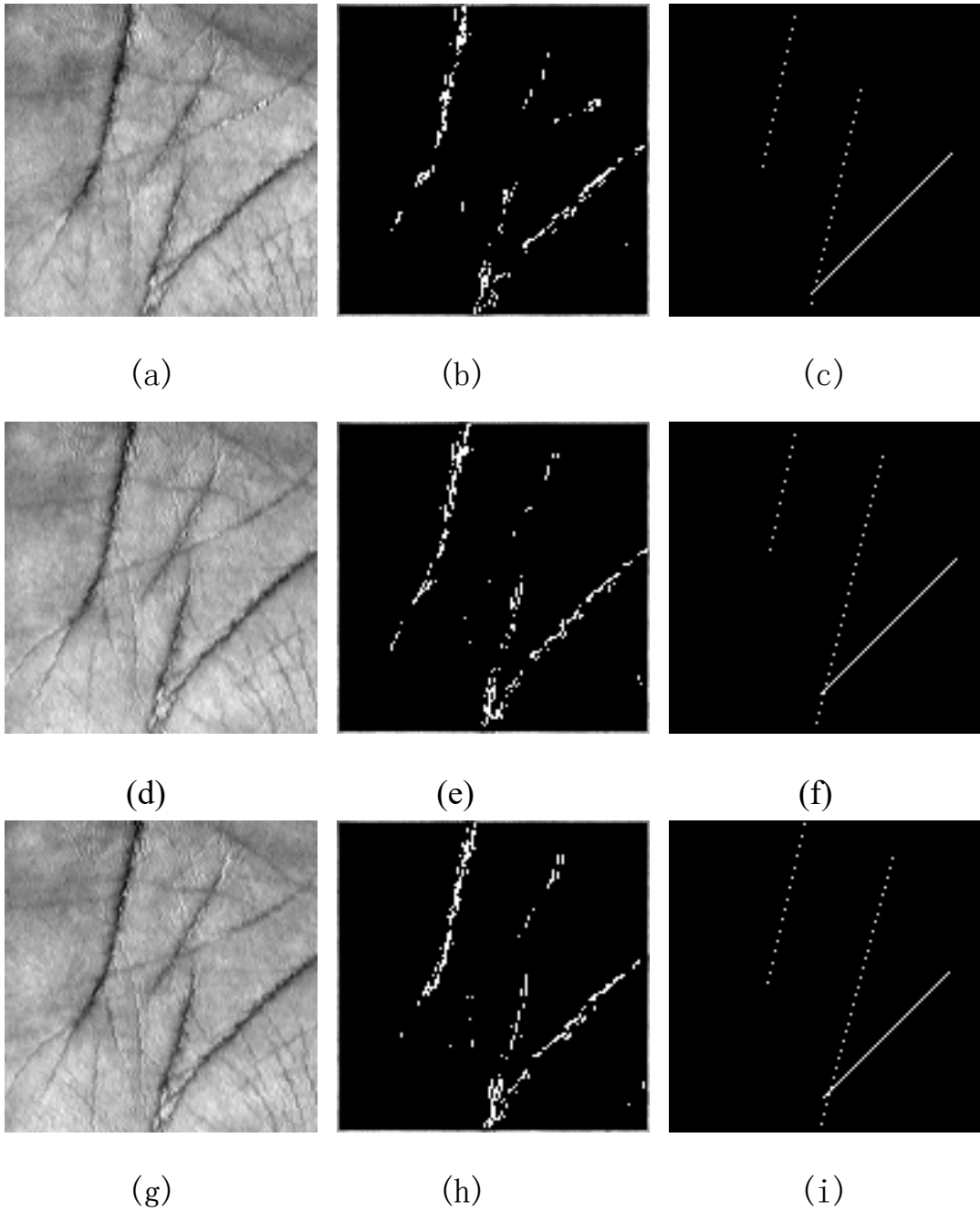


图 3-14 用 Hough 变换描述掌纹线特征(a), (d), (g)为原始图像;

(b), (e), (h)边界点; (c), (f), (i)线特征

3.2 数理统计分析

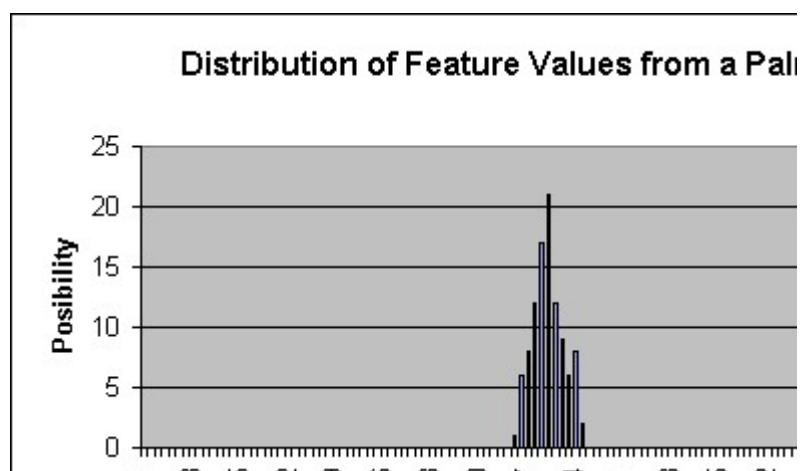
数理统计分析是一种通过分析大量数据来发现事物本质规律的研究方法，它以概率论为理论依据。在现实生活中，数理统计分析方法被普遍应用在各行各业中。一方面，人们可以通过观察大量实例来发现未知的甚至是没有想象过的规律，另一方面，当人们对事物规律有了某种揣测后，可以设计实验或者有目的地搜集数据来验证假设。应用数理统计分析方法获得验证的规律被普遍承认并被当作公理或定律固定下来，成为人类社会生活中的一些准则。例如，抽样检验方法被普遍用在产品质量检验中。

到目前为止，人们已经总结出大量的搜集数据、分析数据和依据有限数据作判断的方法。应该说这些方法在已经研究过的领域具有一定的有效性，但是这些方法不一定在未知的新领域也同样有效，也就是说数理统计分析方法本身也还有其广阔的发展空间，还会随着该方法在不同领域的应用而发展。所以我们在应用数理统计方法分析问题时应避免被已有的方法和规律框住，而牢记该方法的基本准则是从数据中发现规律，再用数据来验证规律。

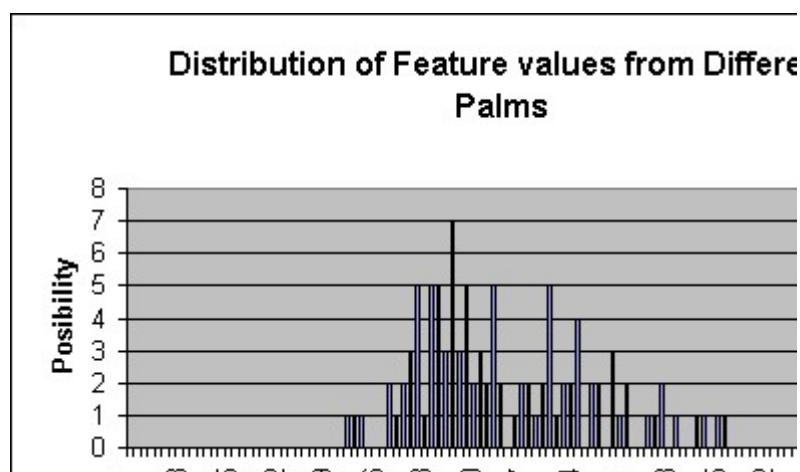
在掌纹识别中，我们用到的主要统计分析方法包括：统计量的分布、方差分析、回归分析或称相关分析。

统计量的分布

当我们在研究某类对象时，总是用一些数值来代表该类对象。这些数值称为统计量。研究统计量的分布是指考察统计量落在不同数值上的概率，从而揭示该类对象就某一统计量而言的变化规律。在掌纹识别中，我们用掌纹的特征作为统计量来代表掌纹，研究来自相同手掌的掌纹样本的特征值分布情况可以揭示该特征在反映掌纹不变性方面的能力，特征的取值越集中，说明该特征越能反映同一只手的掌纹的不变性。研究来自不同手掌的掌纹样本的特征值分布情况可以揭示该特征在反映不同手掌的差异性方面的能力，特征的取值越分散，说明该特征越能反映不同手掌的掌纹的差异性。图 3-15 显示了用全局纹理能量作为统计量来刻画掌纹，其取值在相同手掌的样本中的分布情况和不同手掌中的分布情况。



(a) 同一只手的 100 个不同样本的特征取值分布情况



(b) 100 个不同手的掌纹样本的特征取值分布情况

图 3-15 用统计量分布方法评价特征的结果

方差分析

方差体现了一类对象在某一统计量下的取值偏离其均值的程度。方差越小，说明该类对象在这一统计量下越聚集，反之方差越大，说明该类对象在该统计量下越离散。如果我们把来自同一只手的掌纹看作一类，而把来自不同手掌的掌纹看作不同的类，那么计算类内方差

与类间方差的比值可以估计用该统计量来做类的划分的有效程度。方差可以用平方和或均方差表示，均方差是平方和的平方根。给定一组样本 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ ，得到统计量 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ，平方和的计算公式如下：

$$p = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_j - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i)^2 \quad (3-24)$$

我们就是用方差分析的方法来评估和选择掌纹特征的。表 3-1 给出了几种掌纹特征的方差分析实验结果。

表 3-1 几种掌纹特征的组内和组间方差分析结果

	组内方差	组间方差	组间方差/组内方差
手指宽度	6	15	2.5
手掌宽度	20	30	1.5
中指区纹理能量	10	35	3.5
无名指区纹理能量	12	33	2.75
一、二线区纹理能量	5	30	6
三线区纹理能量	15	45	3
灰度变化趋势	5	70	14

表 3-1 说明特征灰度变化趋势具有最强的区分能力，而手掌宽度具有最弱的区分能力。根据不同特征的区分能力可以对它们进行优选。当然，也可以用相关分析的方法分析它们之间的依赖关系，从而去掉用处不大的特征。特征的说明见第 5 章。

回归分析 (相关分析)

回归分析研究的是一个统计量随另一个 (多个) 统计量变化的规律。也就是说研究两个 (多个) 统计量之间的关系。最常用的回归分析是线性回归分析, 即假设两个统计量有线性关系:

$$y = ax + b \quad (3-25)$$

然后根据观测值 $(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$, $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 估计出系数 a, b 以及线性相关的程度 r , r 越大说明 y 和 x 的线性相关关系越密切。 a, b, r 的计算公式如下:

$$\begin{cases} a = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} \\ b = \bar{y} - a\bar{x} \end{cases} \quad (3-26)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3-27)$$

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad l_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (3-28)$$

$$r_{xy} = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx}l_{yy}}}, \quad \text{其中 } l_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3-29)$$

在掌纹识别中, 线性回归用途之一是在图像处理过程中的直线拟合。用途之二是当每个掌纹用一组数字来描述时, 我们用两组数字的的线性相关系数 r 来描述它们的相似程度, 当 r 大到一定程度时, 我们认为两个掌纹来自同一只手, 否则来自不同的手。

除了线性回归以外, 两个统计量更可能具有非线性关系。对于一般相关关系的研究可以遵循如下的步骤:

1. 通过实验和观察得到统计量 X_1, X_2, \dots, X_n 和 Y_1, Y_2, \dots, Y_n
2. 以 x, y 为轴绘出它们的关系图
3. 通过观察估计它们的相关函数
4. 用统计量求解相关函数的参数并计算统计量拟合到相关函数的误差。

我们在研究实验样本容量与系统识别率时就是采用了上述的相关关系分析方法。

3.3 模式识别

模式识别研究的是如何对客观事物进行归类的问题。归类问题有两种，即常说的分类和聚类。分类问题是指人类预先确切知道分类准则并能够人为地对待分类的事物做出正确分类，而研究的目的在于让计算机进行自动分类。聚类问题是指给定度量距离的标准，让计算机根据事物之间的距离远近进行自动分类。这种聚类分析往往人们预先并不知道聚类的结果，基本上是一种研究事物在一定度量尺度下的内在关系的方法。掌纹识别研究的问题属于前者，即分类问题。掌纹研究的目的是将来自同一只手的掌纹归为一类，来自不同手的掌纹归入不同的类。

模式识别的一般过程包括数据获取、特征提取、特征比对和决策。可以用图 3-16 描述：

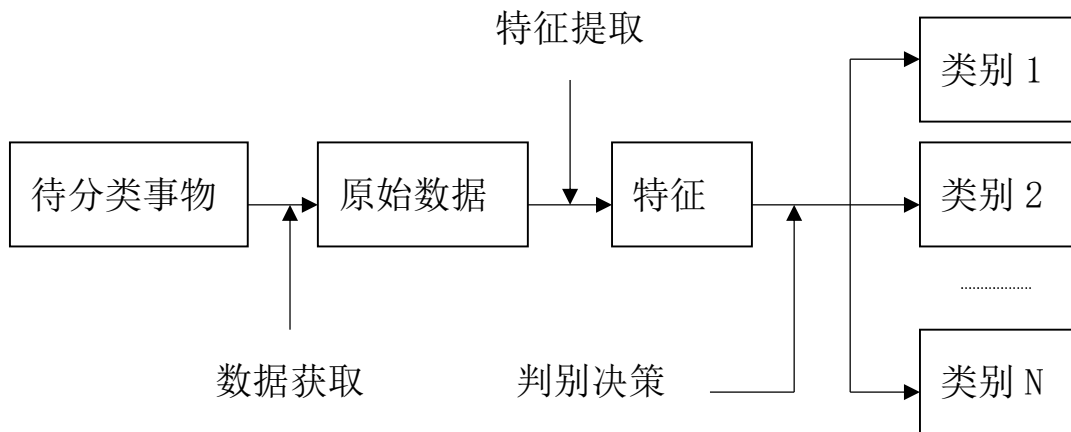


图 3-16 模式识别的一般过程

在整个过程中两个关键问题是使用什么样的特征模型来进行分类和能否通过数字化测量方法从待分类事物中获取需要的特征。一般来说，数据获取与人机交互及硬件的发展关系密切，而特征提取的主要方法来自图像处理和信号处理。传统的模式识别研究主要集中在特征的选择和判别决策上。我们说特征模型的建立源自对待分类事物本质的清楚认识，这一认识过程对人类来说有时也是比较困难的，如果想让计算机来自动实现几乎是不可能的。另外一个使得由计算机自动建立特征模型成为不可能的原因是我们对事物做分类总是为着某种目的，而分类的目的决定了分类的方法。这种人类意愿支配下的分类不可能由计算机来自动完成。当然也许我们可以研究一种分类意愿描述语言来描述分类意愿并由计算机来实现该语言。这倒不是本文要讨论的问题。

下面我们来讨论一下统计模式识别研究中总结出来的主要方法及它们在掌纹识别中可能的应用。当然这些方法只能是我们研究的工具

而不应成为枷锁来束缚我们的思维。以下方法的叙述主要参照[174]。

3.3.1 特征的评价与选择

在分类时，待分类的事物是用特征来描述的，所选择的特征直接影响分类的效果。在最开始我们认识事物时，总是能凭直觉找到很多特征来，那么这些特征是否适合作分类呢？特征评价就是要回答这一问题。特征评价根据某一特征下，事物的可分性来衡量特征的性能好坏。常用的可分性判据有类内类间距离、基于概率分布的可分性判据和基于熵函数的可分性判据。特征的选择是指根据特征的判别能力和特征提取的难易程度对特征进行取舍，以求得最佳的判别系统综合性能。当然特征的选择标准与具体应用的需求关系很大。

类内类间距离

直观地说，一个特征是好的，它就应该使得在每个类内的两点间距离尽可能地小而在不同的类之间的点的距离应该尽可能地大。所以类内距离与类间距离的比可以用来衡量特征的好坏。类内距离和类间距离分别定义如下：

$$D_{innerClass} = \frac{1}{n * n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d(x_i, x_j), i \neq j \quad (3-30)$$

其中 n 为类内点数，

$$D_{interClass} = \frac{1}{m * n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d(x_i, x_j) \quad (3-31)$$

其中， x_i, x_j 分别属于类 1 和类 2，类 1 中有 m 个元素，类 2 中有 n 个元素。

基于概率分布的可分性判据

上面介绍的距离准则是直接从各类样本间的距离算出的，没有考虑各类的概率分布，不能确切表明各类交叠的情况，因此与错误概率没有直接关系。优点是计算方便，直观概念清楚。下面讨论基于概率分布的可分性判据。

先研究一下两类的情况：如图：3-17，其中图 3-17(a)为完全可分的情况，图 3-17(b)为完全不可分的情况。假定先验概率相等，若对所有使 $p(x|\omega_2) \neq 0$ 的点有 $p(x|\omega_1) = 0$ ，如图 3-17(a)，则两类为完全可分的；相反，如果对所有 x 都有 $p(x|\omega_1) = p(x|\omega_2)$ ，如图 3-17(b)，则两类完全不可分。

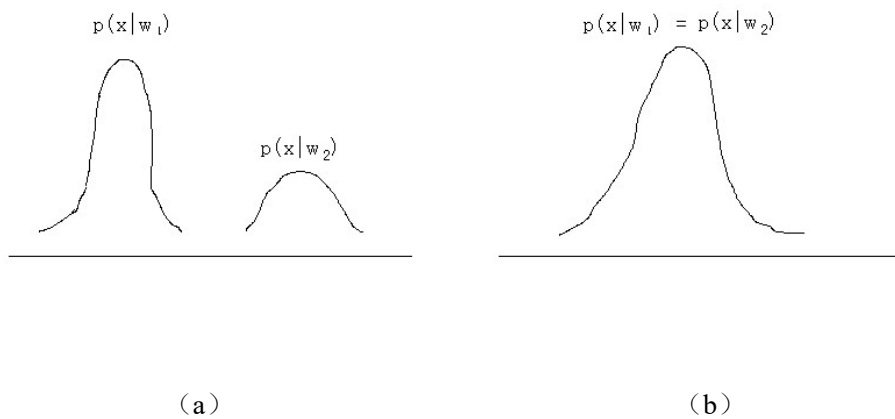


图 3-17 完全可分与完全不可分情况

分布密度的交叠程度可用 $p(x|\omega_1)$ 及 $p(x|\omega_2)$ 这两个分布密度函数之间的距离 J_p 来度量。任何函数 $J(\bullet) = \int g[p(x|\omega_1), p(x|\omega_2), P_1, P_2] dx$ 如果满足下述条件：

- (1) J_p 为非负, 即 $J_p \geq 0$;
- (2) 当两类完全不交叠时 J_p 取最大值, 即若对所有 x 有 $p(x|\omega_2) \neq 0$ 时 $p(x|\omega_1) = 0$, 则 $J_p = Max$;
- (3) 当两类分布密度相同时, J_p 应为零, 即若 $p(x|\omega_1) = p(x|\omega_2)$, 则 $J_p = 0$ 。

都可用来作类分离性的概率距离度量。

3.3.2 判别方法

模式识别的分类问题是根据对象特征的观察值将其分到某个类别中去。统计决策理论是处理模式分类问题的基本理论之一, 它对模式分析和分类器的设计有着实际的指导意义。

贝叶斯决策理论

贝叶斯(Bayes)决策理论方法是统计模式识别中的一个基本方法, 用这个方法进行分类时要求:

- (1) 各类别总体的概率分布是已知的;
- (2) 要决策分类的类别数是一定的。

在连续情况下, 假设对要识别的物理对象有 d 种特征观察量 x_1, x_2, \dots, x_d , 这些特征的所有可能的取值范围构成了 d 维特征空间, 我们称 $x = [x_1, x_2, \dots, x_d]^T$ 为 d 维特征向量, 这里 T 是转置符号。这些假设说明了要研究的分类问题有 c 个类别, 各类别状态用 ω_i 来表示, $i=1, 2, \dots, c$; 对应于各个类别 ω_i 出现的先验概率 $P(\omega_i)$ 及类条件概率密度函数 $p(x|\omega_i)$ 是已知的。如果在特征空间已观察到某一向量 x , $x = [x_1, x_2, \dots, x_d]^T$ 就是 d

维特征空间上的某一点，那么应该把 x 分到哪一类去才最合理呢？下面介绍几种常用的决策规则。

(1) 基于最小错误率的贝叶斯决策

这种决策的基本思想是对于两类决策，假设 ω_1, ω_2 表示两种决策状态，现在要将观测值 x 归类于二者之一。已知状态先验概率 $p(\omega_1)$ 和 $p(\omega_2)$ 以及类条件概率密度 $p(x|\omega_1)$ 和 $p(x|\omega_2)$ ，利用贝叶斯公式

$$p(\omega_i | x) = \frac{p(x | \omega_i) p(\omega_i)}{\sum_{j=1}^2 p(x | \omega_j) p(\omega_j)} \quad (3-32)$$

得到的条件概率 $p(\omega_i | x)$ 称为状态的后验概率。因此，贝叶斯公式实质上是通过观察 x 把状态的先验概率 $p(\omega_i)$ 转化为状态的后验概率 $p(\omega_i | x)$ 。这样，基于最小错误率的贝叶斯决策规则为：如果 $p(\omega_1 | x) > p(\omega_2 | x)$ ，则把 x 归类于状态 ω_1 ，反之，则把 x 归类于 ω_2 。

(2) 基于最小风险的贝叶斯决策

如上述在模式分类的决策中，使错误率 $p(e)$ 达到最小是重要的。但实际上有时需要考虑一个比错误率更为广泛的概念—风险，而风险又是和损失紧密相连的。我们可以用一张决策表来描述在各种状态下做出错误判断的损失，如表 3-2。

表 3-2 一般决策表

	自然状态					
	W_1	W_2	...	W_j	...	W_c
C_1	$\lambda(c_1, w_1)$	$\lambda(c_1, w_1)$	...	$\lambda(c_1, w_1)$	...	$\lambda(c_1, w_1)$

C_2	$\lambda(c_1, w_1)$	$\lambda(c_1, w_1)$	...	$\lambda(c_1, w_1)$	...	$\lambda(c_1, w_1)$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
C_I	$\lambda(c_1, w_1)$	$\lambda(c_1, w_1)$	...	$\lambda(c_1, w_1)$	...	$\lambda(c_1, w_1)$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
C_a	$\lambda(c_1, w_1)$	$\lambda(c_1, w_1)$	...	$\lambda(c_1, w_1)$	...	$\lambda(c_1, w_1)$

最小风险贝叶斯决策可按下列步骤进行：

- a. 在已知 $p(\omega_j)$, $p(x|\omega_j)$, $j=1, \dots, c$ 及给出待识别的 x 的情况下，根据贝叶斯公式计算出后验概率：

$$p(\omega_j | x) = \frac{p(x|\omega_j)p(\omega_j)}{\sum_{i=1}^c p(x|\omega_i)p(\omega_i)}, j=1, \dots, c \quad (3-33)$$

- b. 利用计算出的后验概率及决策表，按式 3-34 计算出采取 $C_i, i=1, 2, \dots, a$ 的条件风险 $R(C_i | x)$

$$R(C_i | x) = \sum_{j=1}^c \lambda(C_i | \omega_j) p(\omega_j | x), i=1, 2, \dots, a \quad (3-34)$$

- c. 对 b 中得到的 a 个条件风险值 $R(C_i | x), i=1, 2, \dots, a$ 进行比较，找出使条件风险最小的决策 C_k ，即

$$R(C_k | x) = \min_{i=1, \dots, a} R(C_i | x) \quad (3-35)$$

则 C_k 就是最小风险贝叶斯决策。

(3) 在限定一类错误率条件下使另一类错误率为最小的两类别决策在两类决策问题中，有犯两种错误分类的可能性，一种是在采取决策 ω_1 时其实际自然状态为 ω_2 ，另一种是在采取决策 ω_2 时其实际自然状态

为 ω_1 ，这两种错误的概率分别为 $p(\omega_2) \cdot p_2(e)$ 和 $p(\omega_1) \cdot p_1(e)$ ，最小错误率贝叶斯决策是使这两种错误率之和 $p(e)$ 为最小。由于先验概率 $p(\omega_1), p(\omega_2)$ 对具体问题来说往往是确定的，所以一般称 $p_1(e), p_2(e)$ 为两类错误率。实际中，有时要求限制其中某一类错误率不得大于某个常数而使另一类错误率尽可能地小。这样的决策可以看成是在 $p_2(e) = \varepsilon_0$ 条件下，求 $p_1(e)$ 极小值的条件极值问题。

(4) 最小最大决策

从最小错误率或最小风险贝叶斯决策中可以看出其决策都是与先验概率 $p(\omega_i)$ 有关的。如果对给定的 x ，其 $p(\omega_i)$ 不变，按照贝叶斯决策规则，可以使错误率或风险最小。但如果 $p(\omega_i)$ 是可变的，或事先对先验概率毫无所知，若再按某个固定的 $p(\omega_i)$ 条件下的决策规则来进行决策就往往得不到最小错误率或最小风险。考虑到 $p(\omega_i)$ 是变化的，可以采用最小最大决策方法，它的基本思想是如何使最大可能的风险最小，即在最差的条件下争取最好。

(5) 序贯分类方法

前面几种方法都认为 d 个特征同时给出并且不考虑所花的代价。在有些实际应用中特征的获取要花一定的代价，这样除了考虑错分会造成损失外，还应考虑获取特征所花的代价。可能会有这样的情况，获取 k ($k < d$)后就做判决分类更合理。这是因为其余 $d-k$ 个特征的加入使分类错误率降低而造成的代价的减少补偿不了获取这些特征所

花的代价。解决这个问题可用序贯分类法，就是先用一部分特征来分类，逐步加入特征以减少分类损失。而每步都要衡量加入新特征所花的代价与所降低分类损失的大小，以便决定是否继续增加新特征。

线性判别函数

线性函数判别法是一类较为简单的判别函数。它首先假定判别函数 $g(x)$ 是 x 的线性函数，即 $g(x) = w^T x + w_0$ ，对 c 类问题，可以定义 c 个判别函数， $g_i(x) = w_i^T x + w_{i0}, i = 1, 2, \dots, c$ 。我们要用样本去估计各 w_i 和 w_{i0} 。

分段线性判别函数

分段线性函数是一种特殊的非线性判别函数，它确定的决策面是由若干超平面段组成的。由于它的基本组成仍然是超平面，因此，与一般超曲面相比，仍然是简单的；又由于它是由多段超平面组成的，所以它能逼近各种形状的超曲面，具有很强的适应能力。

最邻近法

假定有 c 个类别 w_1, w_2, \dots, w_c 的模式识别问题，每类有标明的样本 N_i 个， $i = 1, 2, \dots, c$ 。我们可以规定 w_i 类的判别函数为

$$g_i(x) = \min_k \|x - x_i^k\|, k = 1, 2, \dots, N_i \quad (3-36)$$

其中 x_i^k 的角标 i 表示 w_i 类， k 表示 w_i 类 N_i 个样本中的第 k 个。按照式

(3-36)，决策规则可以写为

若 $g_j(x) = \min_i g_i(x), i = 1, 2, \dots, c$ ，则决策 $x \in W_j$ 。这一决策方法称为最邻近法。

k-邻近法

k-邻近法是取未知样本 x 的 k 个近邻,看这 k 个近邻中多数属于哪一类,就把 x 归为哪一类。

3.4 机器学习

这里我们主要讨论有监督的学习,即对应于模式识别的分类问题。对于模式识别来说,机器学习的基本思想是输入预先知道分类结果的学习样本集给系统,由系统自动产生一些简单的形如:如果怎样就怎样的规则,然后系统可以根据规则对未知结果的样本进行分类。这种方法与人类一般的思维方式很相似,所以系统的最初构造比较简单。这种方法其实与上面所述的模式识别的系统分类方法有异曲同工的效果。在基于机器学习的分类决策中,每个样本也是由一个 n 维特征向量表示的,每条分类规则其实就是一个简单的二值函数 $y_i = \text{sign}(f_i(x_i) - c_i)$, 其中 x_i 是第 i 个特征, $f_i(x_i)$ 是某种变换, c_i 是阈值, y_i 取 1 或 0。而最终的判别是所有 y_i 的线性或非线性的组合。用机器学习的方法来寻找分类规则与系统分类方法的共同基础是有一组能够很好地刻画待分类对象本质的特征向量。机器学习更多地依赖学习样本,它的分类预测基本上是一种类比的思想即未知样本与哪个预先知道的样本最相似,就将其归类为哪个预知样本所属的类。只要用来学习的样本具有足够的代表性,这种机器学习的方法就能得到较好的分类预测效果。而 3.3 中介绍的系统分类方法基本思想是从学习样本

中抽象出一般规律，再将一般规律推广到未知样本的判别上，这种方法同样依赖学习样本的代表性。

一般来说，在机器学习中的一个重要概念是收敛性的证明，即当学习样本趋于无穷时，学到的规则接近于真理。例如在参数估计中，某种学习方法是收敛的则样本数越大估计值越逼近真实值。但是在实际应用中，很多时候要证明某种学习是收敛的并不是一件容易的事。我们对未知样本的估计都是基于某种经验的，这种估计正确与否只有在事情发生时才能得到验证。例如对于单一特征的判别函数的学习，假设最简单的情况 $y = \text{sign}(x - c)$ ， x 为特征， y 为判别函数， c 为阈值，我们希望通过学习得到阈值 c 。但是随着样本数目的增加 c 有可能发散到无穷大，这时候学习不收敛，但不等于学习没有意义，我们可以通过观察 c 的变化情况来增强对特征 x 的了解，比如了解什么情况下 c 会发散或者是特征 x 是否随时间变化而变化等等。这样就为改进特征模型提供了依据。本文在第 6 章设计的基于网络的识别系统就是利用了这一思想，即并不证明学习的一致性和收敛性，而是定义若干异常报警机制，也就是说当学习并不朝着我们预期的方向进行时，系统会自动提示我们观察异常情况，人为地对系统做出修改。

3.5 生物识别技术

掌纹识别与指纹识别、脸型识别、说话人识别、虹膜识别等等学科一起构成生物识别技术[42-49]。基于生物识别技术的人类个体

识别系统是通过对人体某些独特的特征的认识来区分不同的个体。对这类系统来说特征的选择是十分重要的。为了能区分开任意两个不同的个体，被选择来做识别的特征必须具备以下的条件：

- 1) 广泛性，即要使用该系统的所有人都具有该特征；
- 2) 唯一性，即任何两个人在该特征上都具有足够的差异性；
- 3) 持久性，即该特征必须在相当一段时间内保持稳定；
- 4) 可测量性，即该特征必须是可以被测量并量化的。[14]

尽管一些文章试图从生理学和物理学的角度证明某一特征的唯一确定性，但是某特征是否适合用来做个体鉴别仍需要大量的数据测试后方可确定。有时候，根据所依赖的人类特征不同，个体识别系统也被分成物理特征系统和行为特征系统。象指纹、脸、视网膜、虹膜等为基于物理特征的系统，而签名、键盘敲击频率、声音等为基于行为特征的系统。

指纹

在所有被用来做个体识别的人类特征中，指纹是最古老的一个，也是被广泛接受的一个。指纹是手指表面皮肤纹理的图像（图 3-1）。通常指纹由凹陷的沟槽和突起的隆线组成。在隆线上还分布着许多汗毛孔。在指纹上有两类特征可被提取出来做识别。



图 3-1 指纹

一类称为细节点，即沟槽分叉或断开的点。另一类利用汗毛孔的分布特征，即汗毛孔的分布是大致均匀的并且不同人的间距是不同的 [52-79]。

虹膜

虹膜是眼球的一部分。它是由晶状体支持的附着在眼球中间部分的薄膜（图 3-2）。从形状上看它更象一个三维的截去了一部分的圆锥体。在它的基部，虹膜附着在晶状体上。在另一端，它开向瞳孔，具体地说是



图 3-2 虹膜

在中心下偏向鼻腔的部位。角膜位于虹膜前起到保护作用。虹膜的纹理结构对每一个人来说是唯一的并且不随年龄的变化而变化

[101-106]。

视网膜

视网膜是位于眼球后部的血管层（图 3-3）。象虹膜一样，视网膜具有唯一性并且在人死后很快萎缩。视网膜被认为是最可靠的生物特征。非法闯入基于视网膜保护的系统几乎是不可能的。该类系统都需要有一个精确的注册视网

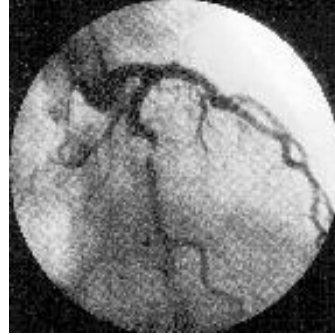


图 3-3 视网膜

膜的过程，包括用强光照亮眼睛以获取视网膜信息[46]。因为该类系统需要使用强光照射眼睛，被认为会使用户有抵触情绪。

签名

签名作为身份识别的手段已经在银行业应用多年。同一个人的签名的整体形状、位置、轻重分布和字符拐点的特征都是基本不变的（图 3-4）。自动化的签名验证系统开始于 20 年前 [114-126]。



图 3-4 签名

人脸

几乎所有的人都知道如何根据人脸来辨识脸谱（图 3-5）。因此选择人脸来做自动化身份鉴别显得非常自然。但是，迄今为止，基于人脸的生物识别系统效率还远远比不上基于指纹的系统，尽管这是一个很活跃的研究方向并且已有很多文章发表 [85-100]。



图 3-5 人脸

声音

声音同人脸一样自然。人们可以很容易地在电话里听出熟悉的人的声音。在公安系统中，通过录音来寻找嫌疑人的方法已经被使用多年（图 3-6）。声音的获取相对容易而且价格低廉 [107-113]。

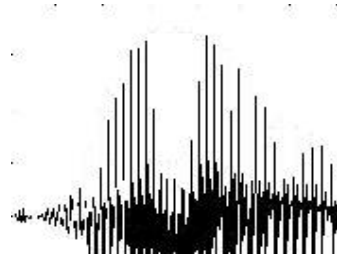


图 3-6 声音

3.6 小结

本章较详细地介绍了与掌纹识别研究有关的理论的基本内容和发展，并阐述了它们与掌纹识别研究的内在关联。掌纹识别研究不同孤立的空中楼阁，它是建立在相关研究基础之上，而又有它自身的独特的研究内容的一项研究。掌纹识别的研究与图像处理、数理统计分析、模

式识别、机器学习以及其它生物识别技术如指纹都有密切关系。掌纹总是以数字图像的形式被输入计算机的，因此图像处理中的图像增强、特征提取等方法都会服务于掌纹识别。因掌纹识别问题可以被看成是对海量掌纹样本的分类问题，所以数理统计分析中的相关理论在掌纹识别中也有用武之地。模式识别、机器学习等理论对开发智能化的掌纹识别系统很有启发。而与掌纹识别对等的如指纹识别、人脸识别、声音识别等因为有着与掌纹识别相同的目标和相近的识别过程，在这些领域的一些成功经验当然可以借鉴到掌纹识别系统中来。通过对本章内容的阐述，可以明了本论文研究的理论知识背景。本章的论述不是简单地介绍相关学科的内容，而是将掌纹识别融入其中，让这些理论为掌纹识别研究服务。

第 4 章

掌纹特征的发现

在掌纹识别中，一个核心问题就是掌纹特征模型的建立。掌纹特征模型是对掌纹的一种抽象描述，它用一组具有特定语义的数值来刻画掌纹的本质特征。掌纹识别的整个过程都是围绕着特征模型进行的。在已知特征模型的情况下，掌纹识别的过程可描述为：1) 寻找合适的输入设备和采样方法，以最大限度地保留以至增强特征模型中定义的特征；2) 寻找合适的特征提取算法以获得样本在特征模型下的取值；3) 给出特征模型的不同取值之间的距离度量方法；4) 给

出最终判别函数并分析该模型下系统可能达到的识别效率。在这四个步骤中特征模型是考虑问题的中心。确定的特征模型使得识别的每一步都具有明确的目标和衡量成败的基础。然而事实上特征模型在开始时并不是已知的，而是需要一个过程来被认知的。本章讨论的主要问题就是如何利用人的主观能动性和计算机的高速度、高精度、高存储量来发现适合于掌纹识别的特征模型。作为发现特征模型的一般方法，我们提出了观察-猜测-实验验证-改进-再观察的认知框架，并分析了人和计算机在整个认知过程中的地位和相互关系。

4.1 对特征模型发现问题的几点分析

首先，本项研究的最终目标是使计算机能够脱离人的参与而自动地进行掌纹的识别。计算机判别两个掌纹是否来自同一只手的依据是：

- 特征模型（特征的定义）
- 掌纹在特征模型下的取值规则（特征提取方法）
- 判别函数（决策规则）

在这里待发现的特征应该是适合计算机的工作模式的，它要满足以下条件：

- 在计算机内是可描述的
- 可以被自动地测定和计算的
- 是可以比较的

其次，特征模型一旦确定，与之相关的识别系统的性能就可以被定量地分析：

- 特征模型下，各特征的取值范围，它决定了该特征的区分能力的极限。
- 一定测试集下，类内平均距离、类内最大距离、类间平均距离、类间最大距离等。这些指标标识了不同类别在该特征下的取值分布情况。
- 系统的识别能力可以用类内平均距离/类间平均距离来分析。该比值越小，标识该特征的区分能力越强。
- 不同类别在特征模型下取值的变化幅度分析。有些情况下，某些类别在一个特征模型下取值基本稳定，而另一些类别取值波动较大，我们的目标是使尽可能多的类别取值基本稳定。

再次，特征发现的过程是个人机协作的过程，人在认识过程中的作用在于：

- 清楚地知道目标
- 理性地分析出现的情况以及当前状况与目标之间的距离
- 是衡量每一动作成败的主体
- 可以凭本能迅速捕捉到关键信息

但是，人在认识过程中也存在着局限性：

- 不能同时观察大量样本
- 对于记忆过的事物会有遗忘现象
- 定性分析能力较强，定量分析能力较弱

而计算机正好可以与人形成优势互补，因其具有如下的优点：

- 存储量大，可以记忆大量样本
- 计算速度快，可以同时比较大量样本的差异
- 完全是定量分析，准确性高

因此在特征发现过程中，既要发挥人的主观能动性，又要借助计算机的大容量、高可靠性和高速度的优势。

最后，发现过程是个螺旋式上升的过程，研究特征地发现一方面当然是为了发现掌纹特征，另一方面也是为了探索特征发现的一般规律。

4.2 特征发现的一般框架

特征发现过程的一般框架如图 4-1 所示：

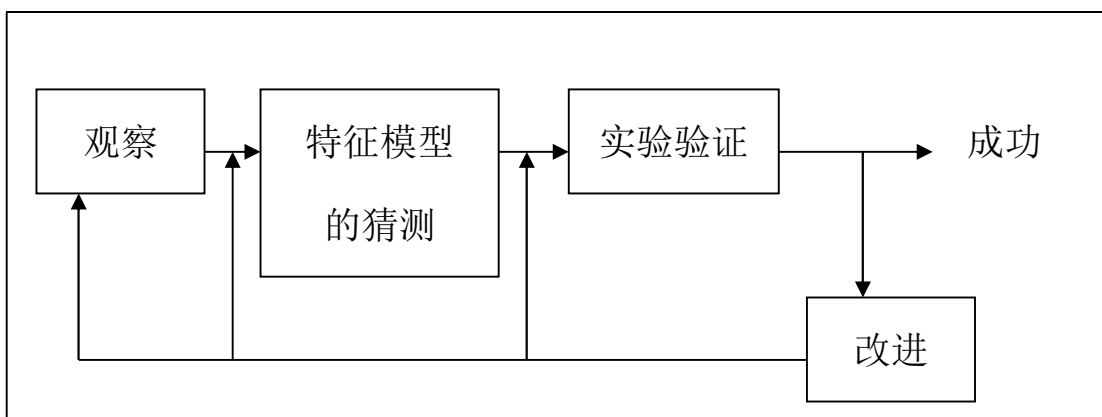


图 4-1 特征发现的一般过程

其中，

- 观察是指以人为主体来对样本进行观察，使人脑获得有关待识

别对象的知识。

- 特征模型的猜测是指通过人的思考得到一个假想的特征模型。
- 实验验证是指由人来定义评价特征模型的准则函数，并设计实验方法，由计算机来完成对特征的评价。评价的结果有两种可能，满意和不满意。
- 改进是指在特征模型不能另人满意时，由人来参与分析原因，并给出改进方案。改进方案可能包括的改进有硬件设备的改进、采样方法的改进、特征定义的改进、特征提取方法的改进和重新观察试图发现新内容的改进。

根据改进方案的不同，发现过程回溯的深度会有所不同，可能出现的特征模型不满足可接受条件的原因有以下几种：

- 掌纹在该特征模型下是完全不可分的 – 即多个不同的手掌的掌纹在该模型下的取值是相同或非常相近的，此时要回溯到观察阶段由人来重新观察样本，猜测新的特征模型。
- 大部分样本在该特征模型下是可分的 – 不同手掌在模型下的取值是非常不同的而相同手掌的不同样本的特征取值非常接近，而一小部分样本是不可分的。考察这一小部分样本，发现它们在该特征模型下取值不稳定是因为硬件设备不稳定和采样方法不适当造成的。此时要改进硬件设备，重新采样观察，回溯到观察阶段。
- 由于特征提取算法不合适，使得掌纹在该特征模型下的取值偏离预期的取值而造成较大误差。此时应该改进特征提取算法，

回溯到特征模型的实验检验阶段。

4.3 原始的数字化掌纹特征模型的发现

进行掌纹自动化识别研究的第一步就是形成原始的数字化掌纹特征模型。这一过程基本上是由人来完成的。人在完成这一任务时主要依赖借鉴经验和自身的观察与思考。

4.3.1 古人对掌纹的观察与描述

这里我们先来回顾一下古人对掌纹的观察和描述。手掌是指手内侧位于手指和手腕中间的部分而掌纹是指手掌上的各种粗细条纹。手上的特征可以用以下的方法来描述：

掌的边界

掌纹的边界描述了掌纹的总体形状和面积。边界可以被分成若干段（图 4-2）。按中国传统五行说掌纹按其边界形状可分为金行掌、木行掌、水行掌、火行掌和土行掌五类。

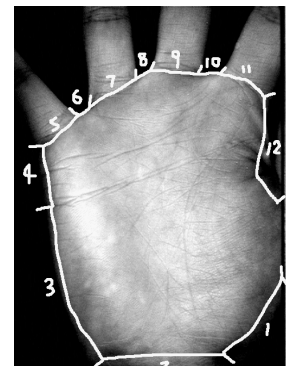


图 4-2 掌纹边界

主线

一般来讲，掌纹上有三条主线称为：情感线（第一线），智慧线（第二线）和生命线（第三线）（图4-3）。1 - 情感线（第一线），2 - 智慧线（第二线），3 - 生命线（第三线）。每个掌纹的主线的长短、走向、位置都不同。

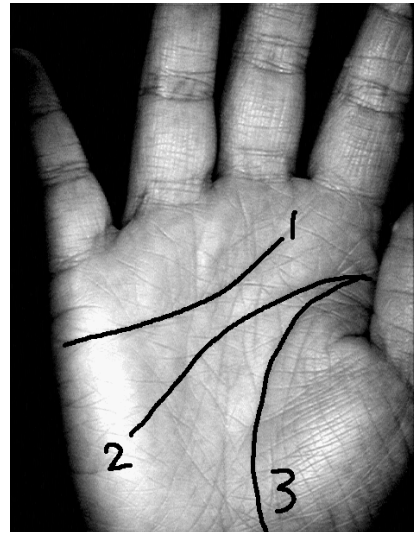
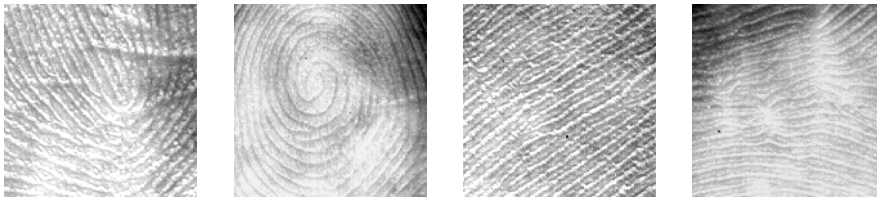


图 4-3 手掌上的主线

手掌上的皮肤花纹

手掌上的皮肤形成很多花纹。不同的手掌花纹的形式和位置不同（图4-4）。



(a) 箕

(b) 斗

(c) 开放式

(d) 突变

图 4-4

手掌上的三角点

三角点是指三个方向的乳突线的汇聚点，每个手掌上都有至少四个三角点。图 4-5 显示了四个三角点的例子。图 4-6 显示了常见的三角的位置。

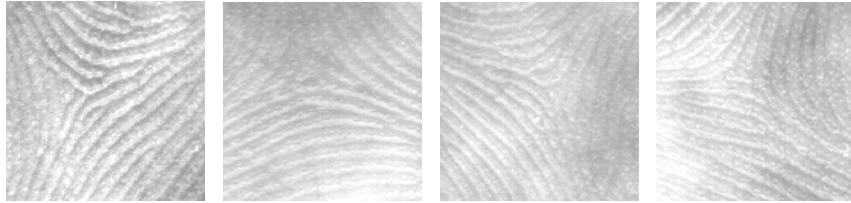


图 4-5 三角点

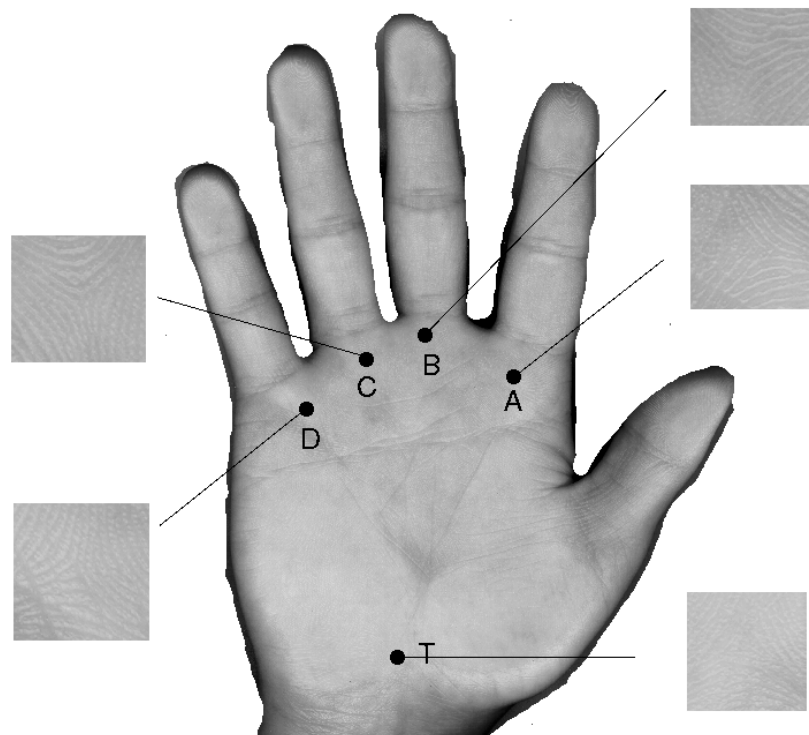


图 4-6 人人都有三角点

手的分区

手掌基本上可以分成五个区，大鱼际区、小鱼际区和二、三、四区（图 4-6）。不同的区厚度、颜色会有所不同，可能出现的乳突线花纹也不同。

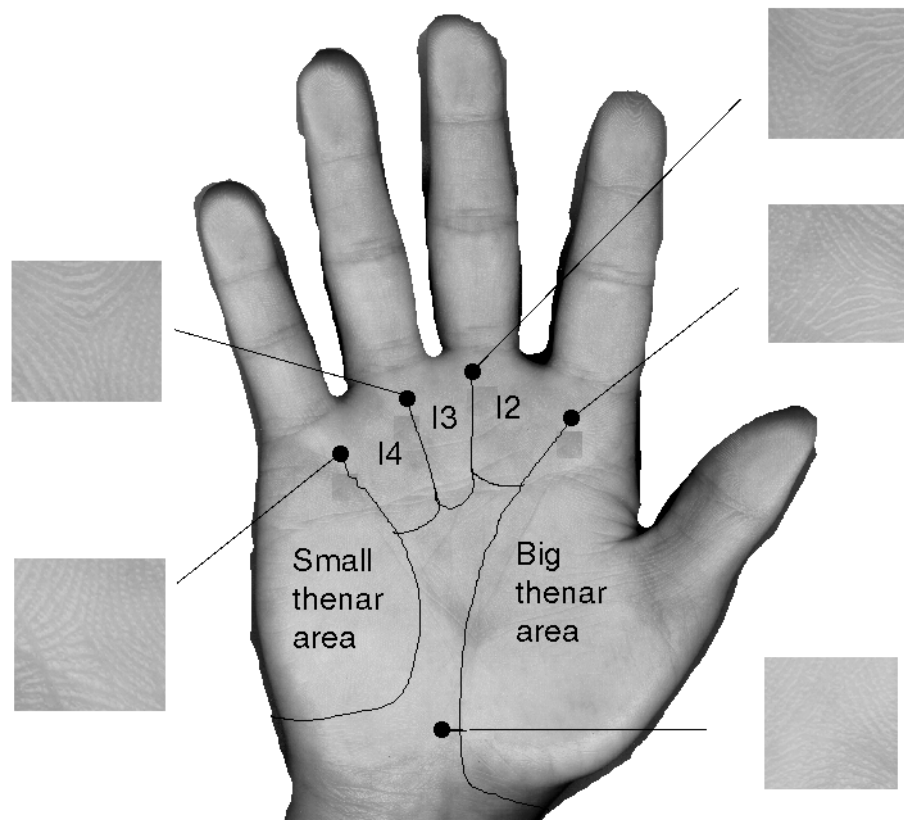


图 4-6 手的分区

古人研究掌纹是为了预测未来，而我们研究的目的相对来说要单纯得多，我们只想知道两个掌纹是否相同，至于不同了会怎样我们不管。《旧约圣经·约伯记》第三十七章第七节上说：“神在人的手上，留下了符号或印章，所有的人都可以从这符号来知道他们的职份。”我们的研究虽然不想知道大家的职份，但我们想找到那符号。

4.3.2 研究者进行特征模型抽象的一般过程

让我们来看一下人判断两个掌纹异同的过程：首先，乍一看，完全不同，或者是有点儿象；再一看，不同，或者是真的很像；再仔细看，还是不同或者是相同。这一过程比较容易用数学方法描述，就是用二叉树来分级淘汰（图 4-7）。

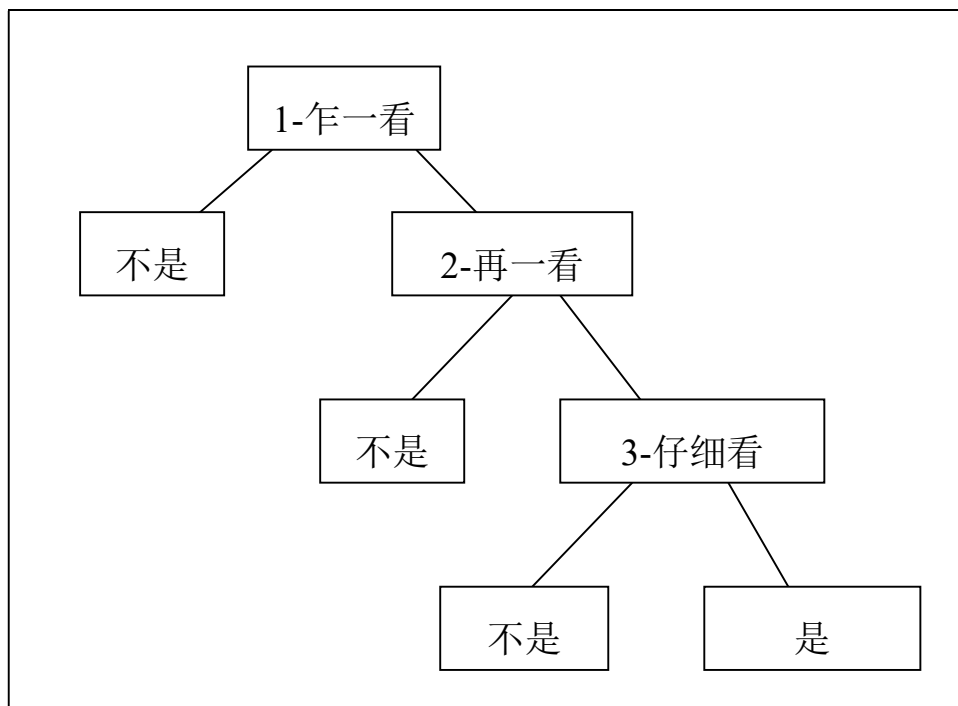


图 4-7 人类判断两个掌纹异同的方式

其次我们来看一下二叉树上的每个节点。

1 - 乍一看：在这一过程中，我们看的是什么？大小、形状、皮肤色泽、手掌各个分区的厚度、手掌质地、纹线的清晰程度等。这些特征能不能被测度？大小，很容易用面积来描述；形状，可以用手掌的轮廓线来描述；皮肤色泽，可以用颜色或者灰度来描述；手掌各个分区

的厚度，可以根据其反光的强度来测定；手掌质地，看相人用手触摸的方式感知，不易于从图像中提取，可以用类似三维手套的方法测量；纹线的清晰程度，可以用图像中灰度分布的离散程度来测量。

2 – 再一看：对于有点儿象的掌纹，就得进一步区分。再一看看的是什么呢？主线的走势和位置。最直观的想法是提取掌纹的主线，然后作线的比对。但是就节点 1 中的结论，有的掌纹主线明显，有的不明显。对于人看不出主线和背景的明显差异的掌纹，要找出自动化的方法似乎有点困难，就是找到了，也无法判断对错，因为人都看不出来。当然可以定义一种线提取算法，不管三七二十一，先提取出纹线图，不管纹线图的内容是什么只要同一手掌在此算法下每次提取的纹线图变化不大就行了，因为我们只是要作身份鉴别。不过这种方法提取出来的图可能会包括一些除了主线之外的细小纹线，由于这些细小纹线与身体的健康状况有关，所以对同一只手掌也可能不同。从而降低了判别的准确性。当然也可以考虑其它测度方式，只要能达到区分主线的走势就行了。

3 – 仔细看：两个手掌非常相似就要仔细看。这时候看的是主线的细节特征。比如主线的分叉。当然也可以象指纹识别那样，观察乳突线所形成的细节点的位置和拓扑关系，但这却是我们想避免的，因为乳突线只有在高分辨率的图像上才能得到，而手掌面积大，必然导致数据量和计算量增大，从而使掌纹识别与指纹识别在技术上没有分别而在效率上占尽劣势。

总之，掌纹上的特征可以用图 4-8 所示的数据结构来表示：

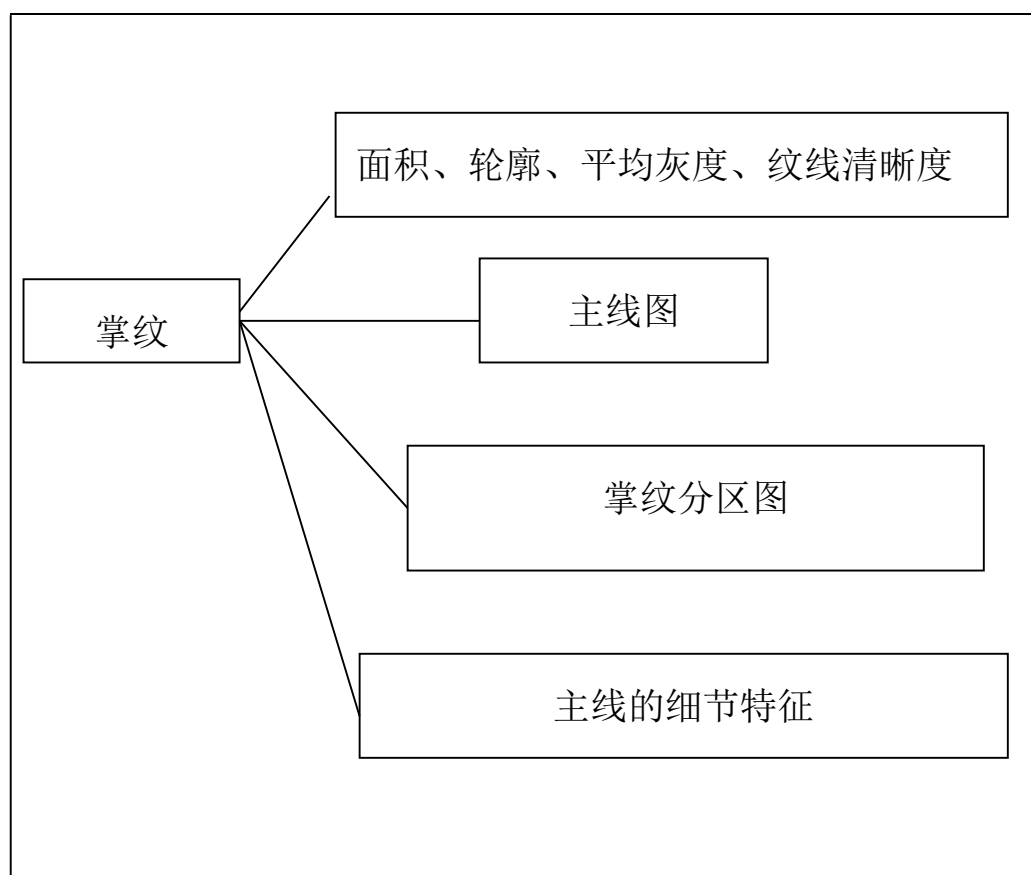


图 4-8 掌纹的原始数字化特征模型

有了这一掌纹识别的初始特征模型，接下来是通过实验验证这一模型的可数字化性和判别有效性。

试验设计包括三个部分：掌纹输入设备的试验、掌纹特征提取算法的试验和整个系统识别率的试验。虽然这三部分基本上是顺序的，但是后期的试验失败会导致前期试验的反复。它们之间的关系可以用图 4-9 来表示：

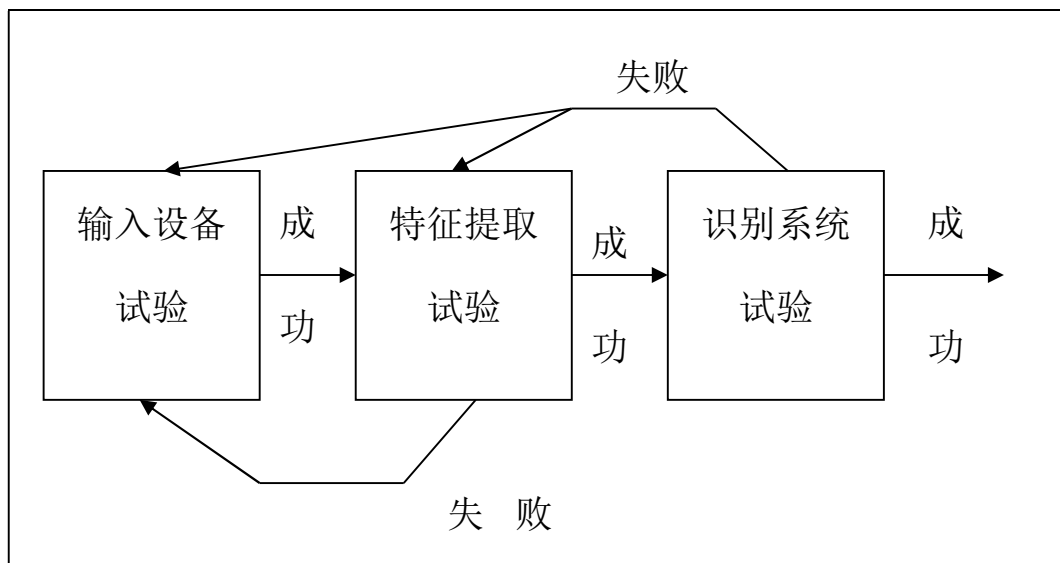


图 4-9 试验的顺序关系

输入设备试验是为了找到一种合适的设备来获取掌纹图像，衡量它成功与否的基本条件是采集到的掌纹可以用肉眼分辨出异同。特征提取试验是为了找到理想的方法提取出原始图像中的特征，判断它成功与否的基本条件是提取出来的特征是我们所预期的并且对同一只手的掌纹有不变性而对不同手的掌纹有明显差异。不成功时可以考虑改进算法和改进设备。识别系统的试验是为了找到一个合适的特征综合的方法最终将同一只手的掌纹认出而将不同手的掌纹区分开。判断这一试验成功与否的基本条件是达到预期的识别率。不成功时可以考虑改进设备、改进特征提取方法和改进判别算法。一般来说改进设备和改进特征提取算法对提高识别率更有效，而改进比对算法对提高识别速度很有效。

4.4 低分辨率下掌纹特征模型的发现过程

1. 硬件设备的研制。

在研究的最开始当然是设计一个掌纹采集的设备来搜集掌纹图像并对其进行观察。为此我们先设计了第一台掌纹采集设备。

2. 第一个掌纹库的建立

有了掌纹采集设备，我们开始建立第一个在线采样的掌纹库，规模为30个人，每人10幅，共300幅。在这一数据库上，我们开始寻求用于掌纹识别的原始特征模型。

3. 最初的掌纹特征模型及发现的主要问题

最初建立的掌纹特征模型包括手掌面积、平均灰度、方向投影曲线（水平和垂直方向上的投影）以及主线子区域的灰度图像原图。这一特征模型在已有的掌纹库上取得了很好的识别效果。但是当我们扩大采样规模后，发现了几个致命的问题：

- a. 由于光源不稳定，图像的亮度变化很大。
- b. 手掌没有很好的固定装置，很容易引起移动、旋转和变形等掌纹变化，给识别带来一定难度。
- c. 以方向投影为细节特征作识别对掌纹的方向很敏感，需要对掌纹进行精确定位，这就比较困难。

4. 硬件设备的改进

基于3中发现的问题，我们对采样设备进行了改进，增加了隔绝外界光源的外壳和用于手掌定位的定位柱。

5. 第二个掌纹库的建立

有了新设备以后就得重新建立掌纹库，因此我们使用新设备建立了第

二个在线掌纹库，规模为 50 个人，每人 10 幅，共 500 幅。在采样过程中，我们还规范了手掌放置的动作，以便使来自同一手掌的图像变化尽可能地小。

6. 特征发现及评价的辅助工具的设计

在第二个掌纹库上，我们希望发现比方向投影更有效的识别特征。一般来说，从发现到确认特征要经历特征假设，特征提取，特征评价的过程。在这一过程中，当我们有了一个假想的新特征后，就会编写一段特征提取的程序，然后观察提取出来的特征的情况。观察的过程一般是先观察某一只手的不同样本，如果特征取值很相似，再观察几只不同的手的样本，如果特征取值差距较大，就建立了继续评价该特征的信心。接下来我们就希望在整个数据库上考察该特征的判别能力。考察的方法是计算在该特征下类内平均距离、类内最大距离、类间平均距离、类间最小距离。如果类内平均距离远远小于类间平均距离并且类内最大距离小于类间最小距离，说明该特征是一个非常好的可用于分类的特征。但事实上我们发现的特征往往没有这么理想，所以可以给定一个特征取舍标准来确认有用特征，抛弃无用特征。因为有了新特征假想后，验证的过程几乎是一样的，所以我们设计了一个特征发现的辅助工具来帮助我们完成假想特征的验证工作。这一辅助工具主要提供以下的功能：

- a. 单个掌纹特征提取及显示
- b. 批方式掌纹特征提取
- c. 批方式观察特征提取结果（连续装入特征提取结果以供观察）

d. 批方式计算类内平均距离、类内最大距离、类间平均距离、类间最小距离。

7. 特征模型的确立

我们用 6 中描述的辅助工具确定了一个低分辨率图像下的掌纹特征模型，在第 5 章中将详细描述该模型。

8. 掌纹识别系统的设计与效率检验

基于 7 中的特征模型，我们设计了一个具有学习、判别和报警功能的在线掌纹识别系统。关于该系统的详细描述在第 6 章。

4.5 小结

特征发现是本章介绍的主要内容。作为本文的创新点之一，我们提出了特征发现的概念 – 即在研究的最初，特征模型尚不清楚的情况下，通过观察-猜测-实验验证-改进-再观察的方法来发现特征。本章着重介绍了特征发现的过程、人和计算机在特征发现过程中的长处和互补。古典研究对掌纹特征的描述 – 即我们所从事的掌纹特征发现过程的起点。另外，我们还根据计算机在特征发现中对人的辅助作用，设计实现了一个辅助工具。应该说特征发现对基于人体的其它特征的识别也是有借鉴作用的。

第 5 章

基于低分辨率图像的掌纹特征模型

不同的采样方法可以得到不同分辨率的掌纹图像。在高分辨率的掌纹图像中，掌纹上的所有纹线包括乳突线都可以用肉眼辨别；而在低分辨率的掌纹图像中只有较粗大的纹理才比较清楚。在我们得研究中，重点是基于低分辨率图像作掌纹识别，所以以下讨论的方法都是针对低分辨率掌纹图像的。

掌纹识别问题可以用面向对象的程序语言来描述。即我们可以将掌纹的特征模型描述成一个类，每一个掌纹在该模型下的取值构成该类的一个实例。掌纹之间的相似程度就是实例之间的距离。来自不同手掌的掌纹实例间的距离较大，而来自相同手掌的掌纹实例间的距离为零或较小。在这一章里我们首先给出了评价掌纹特征优劣的准则并在此准则下分析评价了在掌纹特征发现过程中所尝试过的掌纹特征，然后根据评价结果给出了一个低分辨率下，能够比较充分地描述掌纹特征的特征模型并定义了该模型下实例间的距离和实例化方法。本章的最后，详细描述了掌纹的特征模型和特征提取方法。这里掌纹特征模型被描述成一个类，类中的实例属性代表掌纹的数字化特征，类中有一个实例方法和一个类方法。实例方法是构造函数，对应于特征提取；而类方法是求取实例间的距离，对应于掌纹之间相似程度的衡量。

5.1 评价掌纹特征优劣的准则函数

一个特征的优劣可以用下列的准则来衡量：

- 直观性 即特征是有特定语义的，可以用肉眼观察的。直观性良好的特征可以用简洁、明确的方式评估其提取算法，从而了解特征提取是否达到了预期的目的。这在掌纹识别中是很关键的。我们用好、一般、差定性地描述。
- 可分性 是指该特征用来做分类的有效性。这里我们用类内平均距离/类间平均距离来定量描述它。比值越小，可分性越好；比值越大，可分性越差。
- 所占的空间 特征所占存储空间会影响到对硬件资源的需求和检索效率。理论上希望所占空间越小越好。这里我们用字节数来表示所占的空间。
- 比对的成本 有些特征是容易比较大小的，如数值特征；有些是不容易比较的，如比较两张图的相似性。比对成本越高，特征的可用性越差。这里我们用高、中、低进行定性地描述。
- 稳定性 是指特征不随时间的推移而发生很大的变化。可以用好、一般、差来定性分析。

5.2 对不同掌纹特征的评价

在掌纹特征的发现过程中，我们评价了以下的掌纹特征：

- 平均灰度 不同的掌纹光泽和颜色不同，这一特征可以用平均灰度近似地描述。
- 灰度直方图 它描述了掌纹上灰度分布概率。

- 手指粗细 这里我们主要计算中指和无名指的宽度。
- 手掌的宽度 是指过第二主线的垂直于手掌的直线段的长度。
- 面积 掌纹去除手指以外的部位的面积。
- X 方向投影 将掌纹向 X 方向投影得到的灰度变化曲线。
- Y 方向投影 将掌纹向 Y 方向投影得到的灰度变化曲线。
- 线特征 掌纹上的主线分布图
- 纹理能量 掌纹在一定的模板下的全局纹理能量。
- 区域灰度变化情况 是指将掌纹划分成若干 16X16 的小块, 在每小块内计算平均灰度, 然后将各小块内得到的平均灰度排成一列, 得到一个多维向量作为掌纹的特征。

我们依据 5.1 给出的评价准则函数对上述特征进行了评价, 评价结果见表 5-1。

表 5-1 特征评价结果

特征名称	直观性	可分性	占用空间	比对成本	稳定性
平均灰度	一般	1/3	1	低	一般
灰度直方图	差	1/3	256	低	差
手指粗细	一般	1/4	1	低	一般
手掌宽度	一般	1/3	1	低	差
手掌面积	一般	1/2	1	低	差
X 方向投影	好	1/6	100	中	一般
Y 方向投影	好	1/6	100	中	一般
线特征	好	1/5	960	高	好
纹理能量	差	1/5	1	低	一般
区域灰度变化趋势	一般	1/10	64	中	好

根据评价结果，我们在下一节中给出了低分辨率下的掌纹特征模型。

5.3 低分辨率图像下掌纹特征的理论模型

1. 关键点

我们在掌纹获取设备上加了手指定位柱使采像时五指尽量分开。将两个手指相交的地方定义成关键点。如图 5-1，每个掌纹图像有关键点 k_1, k_2, k_3 。

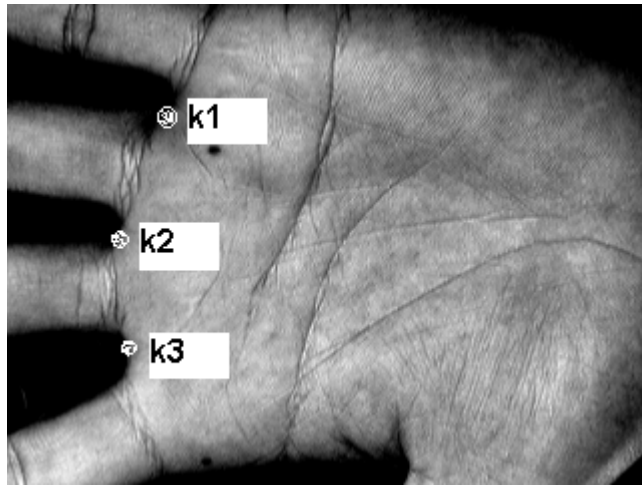


图 5-1 掌纹的关键点 k1, k2, k3

2. 原点和方向

将图 5-1 中 k1 和 k3 的连线方向定义为掌纹的纵方向，从 k2 作垂线与直线 k1k3 交于点 o，我们称 o 为掌纹的原点。只要正确找到掌纹的原点和方向，就可以解决掌纹采像过程中引入的掌纹的旋转和平移问题。当然，这种定位方法也存在一定的误差。图 5-2 显示了掌纹的原点和方向的定义。

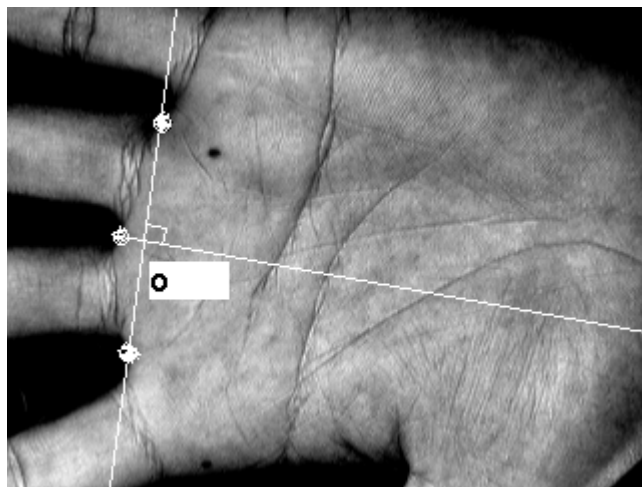


图 5-2 掌纹的原点和方向

3. 宏观特征

掌纹的一些易于测量的宏观特征可以用来作识别第一阶段的粗筛选。这里我们定义了食指和中指宽度、手掌宽度、手掌的平均灰度为掌纹的宏观特征。图 5-3 显示了食指和中指宽度的计算方法，图 5-4 显示了手掌宽度的计算方法，手掌的平均灰度可以用公式：

$$HUE_{average} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f(x_{ij}) \quad (5-1)$$

计算。其中 $m \times n$ 为掌纹图像的大小。



图 5-3 手指宽度的计算（图中粗白线段的长度为手指宽度）

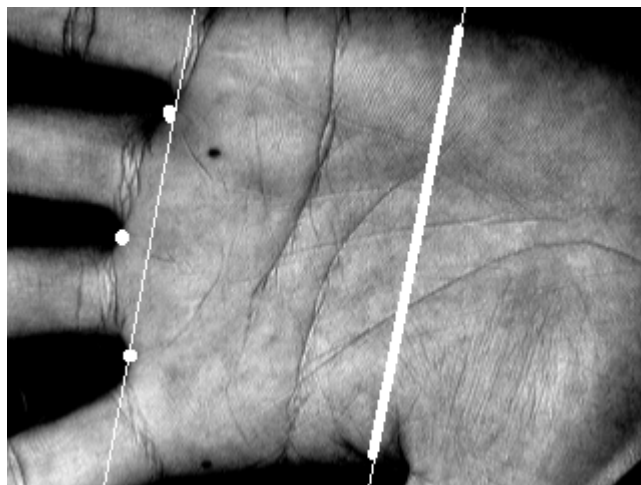


图 5-4 手掌宽度的计算（图中粗白线段的长度为手掌宽度）

4. 掌纹分区

掌纹可以被划分成若干子区域。图 5-5 给出了掌纹子区域的分割方法。这里我们主要关心中指区、无名指区、一二主线区和第三主线区。

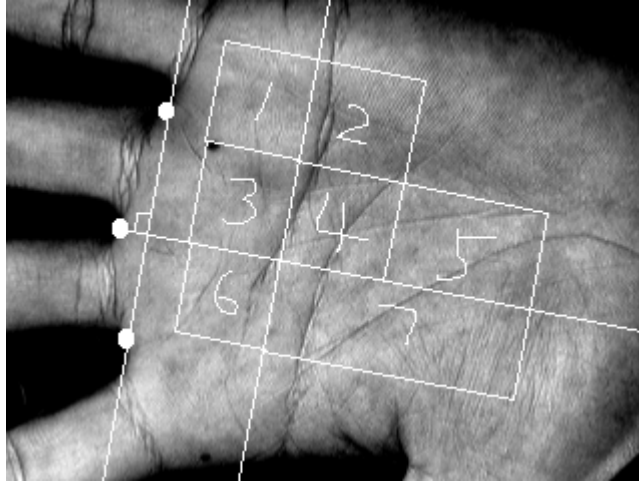


图 5-5 掌纹的子区域， 其中

3 为中指区， 6 为食指区， 1234 为一二主线区， 457 为第三主线区

5. 子区域纹理能量

全局纹理能量可以用来刻画区域的总体特征。我们对掌纹子区域计算全局纹理能量，并把这些能量值也作为掌纹的宏观特征。全局纹理能量的计算公式如下：

$$E_A(I) = \frac{1}{n \times n} \sum_{i=a+1}^{n-a} \sum_{j=a+1}^{n-a} F(i, j) \quad (5-2)$$

$$F(i, j) = \left| \sum_{k=-a}^a \sum_{l=-a}^a (I(i+k, j+l) \times A(k, l)) \right| \quad (5-3)$$

其中，A 为模板， $E_A(I)$ 为图像 I 在 A 下的全局纹理能量。

6. 主线区域灰度变化趋势特征

这一特征是我们用来区别两个掌纹的主要细节特征。它的基本思想是先将子区域划分成 $16*16$ 的小块，在每一块内求均值，然后将所有小块的灰度均值连成一维数组，比较两个区域的相似性就是比较两个一维数组内的数字串的线性相关系数。线性相关系数的度量 r_{xy} 用下面的公式计算：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (5-4)$$

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad l_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad l_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (5-5)$$

$$r_{xy} = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx}l_{yy}}} \quad (5-6)$$

5.4 掌纹特征模型 - 类定义

```
class 掌纹特征 {
```

属性：

```
LONG        面积；
```

```
INT         色泽；
```

```
INTEGER[]   原点坐标；
```

```
// 用来确定图像中掌纹的位置以解决平移的问题。
```

```
INTEGER     方向；
```

```
// 用来确定图像中掌纹的方向以解决旋转的问题。
```

```
INTEGER[]  掌纹轮廓；
INTEGER[]  掌纹子区域 1 特征；
INTEGER[]  掌纹子区域 2 特征；
INTEGER[]  掌纹子区域 3 特征；
INTEGER[]  掌纹子区域 4 特征；
INTEGER[]  掌纹子区域 5 特征；
INTEGER[]  第一、二主线走向趋势；
INTEGER[]  第三主线走向趋势；
INTEGER[][] 第一主线区细节；
// 用于比对极为相似的掌纹
```

构造函数：

```
    掌纹特征（INTEGER[][] 原始图像）；
// 该函数中包含了掌纹特征提取的算法，
// 把原始图像作为输入，初始化所有属性特征。
```

类函数：

```
    LONG  距离（模板掌纹特征实例，当前掌纹特征实例）
// 该函数包含了测度两个掌纹相似程度的算法，
// 输入两个特征实例，计算它们的距离
```

```
}
```


5.5 掌纹特征提取方法 – 构造函数

掌纹特征（原始图像）{

1. 掌纹轮廓线提取
2. 原点定位
3. 确定方向
4. 确定分区
5. 计算各个分区特征
6. 确定第一、二、三主线区
7. 计算主线趋势

}

其中，

1. 掌纹轮廓线提取包括：二值化、平滑、边界跟踪。图 5-3 显示了原始图像和跟踪出来的边界的对照。
2. 原点的确定包括轮廓线截取、平滑和定位。
3. 确定方向包括辅助点的确定和方向的计算。
4. 确定主线区包括根据原点和方向将图像旋转和平移，计算主线区。
5. 确定分区是将整个掌纹分割成五个子区域，以便分别计算局部特征。
6. 计算各个分区特征主要是计算各个分区的厚度差和平均厚度。
7. 计算主线趋势是在一定测度下主线区内的灰度变化情况。

5.6 掌纹距离的计算方法 – 实例间的距离（类方法）

计算掌纹间距离的基本思想是依次计算两个掌纹图像在每个特征上的距离，如果某个特征上的距离超过一给定的阈值，则返回无穷大作为两掌纹之间的距离；如果所有特征上的距离都小于给定的阈值，则返回最后一个特征的距离作为两个掌纹间的距离。具体表示如下：

距离（模板特征实例，当前特征实例）{

 阈值 1 = 初值 1；

 阈值 2 = 初值 2；

 阈值 3 = 初值 3；

 阈值 4 = 初值 4；

 阈值 5 = 初值 5；

 阈值 6 = 初值 6；

 阈值 6 = 初值 7；

 阈值 6 = 初值 8；

 阈值 6 = 初值 9；

 阈值 6 = 初值 10；

 IF（（模板特征实例. 面积 - 当前特征实例. 面积） > 阈值 1）

 THEN 返回无穷大；

 IF（（模板特征实例. 色泽 - 当前特征实例. 色泽） > 阈值 2）

 THEN 返回无穷大；

IF(距离 (模板特征实例. 轮廓 - 当前特征实例. 轮廓)

> 阈值 3)

THEN 返回无穷大;

IF(距离 (模板特征实例. 第一分区特征,

当前特征实例. 第一分区特征) > 阈值 4)

THEN 返回无穷大;

IF(距离 (模板特征实例. 第二分区特征,

当前特征实例. 第二分区特征) > 阈值 5)

THEN 返回无穷大;

IF(距离 (模板特征实例. 第三分区特征,

当前特征实例. 第三分区特征) > 阈值 6)

THEN 返回无穷大;

IF(距离 (模板特征实例. 第四分区特征,

当前特征实例. 第四分区特征) > 阈值 7)

THEN 返回无穷大;

IF(距离 (模板特征实例. 第五分区特征,

当前特征实例. 第五分区特征) > 阈值 8)

THEN 返回无穷大;

IF(距离 (模板特征实例. 第一主线趋势,

当前特征实例. 第一主线趋势) > 阈值 9)

THEN 返回无穷大;

IF(距离 (模板特征实例. 第三主线趋势,

```

        当前特征实例. 第三主线趋势) > 阈值 10)
THEN 返回无穷大;
IF(距离 (模板特征实例. 第一主线细节,
        当前特征实例. 第一主线细节) > 阈值 11)
THEN 返回无穷大;
返回 (距离 (模板特征实例. 第一主线细节,
        当前特征实例. 第一主线细节)).
}

```

5.7 实现的考虑

在上述的距离函数中，所有特征按先后顺序给出，所有的阈值是凭经验给出的，但是这些特征的重要性是不是象给出的顺序呢？它们是同等重要的吗？特征之间有没有关系？每个阈值给什么样的初值比较好？对每个人所有阈值给成一样的好吗？是不是有的人在某些特征下变化小点儿，有的人变化大点儿？是不是有些特征对识别某些人格格外有效，而另外一些特征对识别另一群人更有效？等等这样一些问题都源自于我们对掌纹没有足够的了解，那么是否可以设计出一种机制来对掌纹的特征了解更多一些？于是我们借鉴机器学习中的有关思想，具体地说是神经网络的思想，设计出了一个能够对样本进行自动学习，并且根据学习结果对未知对象作自动判别的掌纹自动识别系统。在第 8 章将详细介绍这个基于网络的掌纹自动识别系统。

5.8 小结

本章主要介绍了我们在特征发现过程中所确定下来的低分辨率下的章纹特征模型。该模型包括掌纹的一些宏观特征如掌的面积、宽度等和微观特征如掌在水平方向和垂直方向的投影曲线等。并用面向对象的程序设计语言具体描述了该特征模型。应该指出的是这一模型是针对我们用自行设计的掌纹采集设备获取的低分辨率掌纹图像的。所以不涉及类似指纹特征的细节点等的特征。这样做可以大大缩小掌纹图像所占用的存储空间，从而使掌纹识别在存储空间和识别时间上不输给指纹识别。该特征模型的建立为掌纹识别奠定了基础。

第 6 章

掌纹识别系统的设计与实现

在前几章里我们着重分析了掌纹特征提取方法，这些方法是否可行还需在实践中进行检验。为此我们实现了三个应用系统 - 掌纹库管理系统、实时掌纹验证系统和利用掌纹特征识别技术取代密码输入的模拟银行提款机系统。

6.1 掌纹库管理系统

掌纹库管理系统的建立为掌纹的采集、更新、组织管理提供了必要手段，它是整个研究的基础。

6.1.1 系统功能

掌纹库管理系统的主要**功能**是完成对原始掌纹图像的插入、删除和基于文本属性的查询。当一个新的掌纹图像被输入时，系统同时输入与之相关的文本属性，例如该用户的姓名、年龄、职业等信息。同时就新的掌纹图像进行特征提取，提取出来的特征连同原始图像以及文本属性一同被作为一个新的记录插入数据库中。插入数据库的掌纹记录是按一定的属性值排序的，这样便于提高查找速度。掌纹记录可以根据姓名、年龄、关键码等被检索或被删除。

6.1.2 系统体系结构及与实现有关的一些参数

本系统采用 Web 服务器-浏览器结构。数据库和数据库操作程序存放在服务器端，掌纹采集设备在客户端。掌纹图像的采集和掌纹库的管理均可通过浏览器远程进行。系统的体系结构如下：

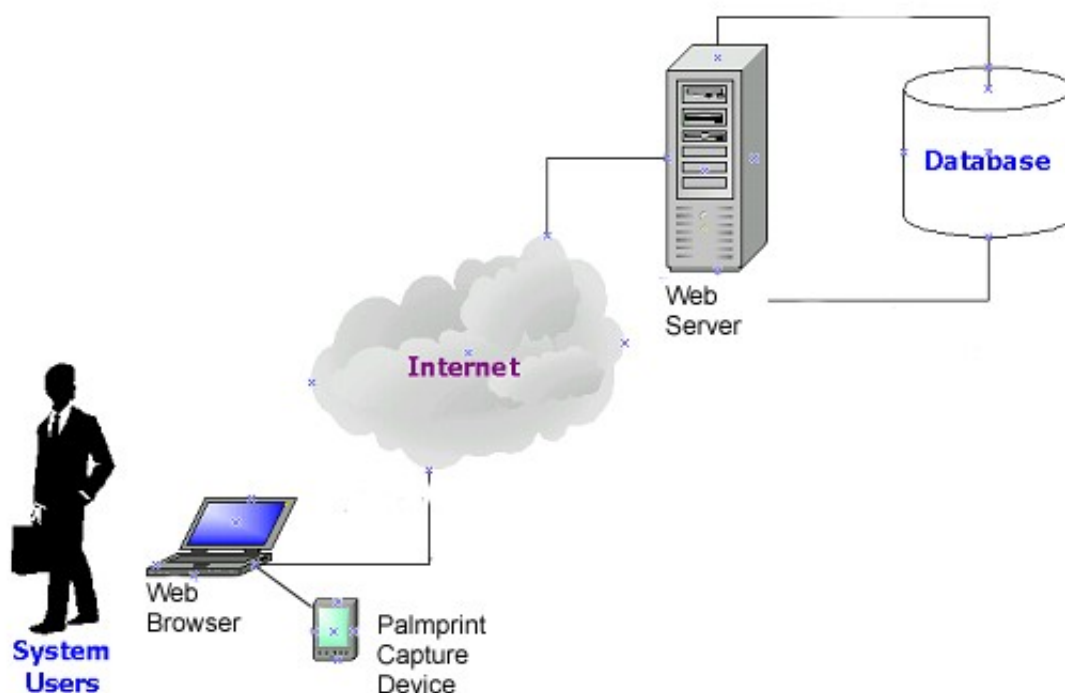


图 6-1 掌纹库管理系统的体系结构

服务器端的数据库采用 Oracle 数据库管理系统,所占存储空间为 500MB。系统功能主要用 JAVA 语言实现,程序一部分以 Java Servlet 形式驻留在 Server 端,另一部分以 Java Applet 形式在客户端执行。系统总的代码量约为 10000 行。平均存取一幅掌纹图像的时间为 0.8 秒。现在系统中有掌纹图像约 6000 幅。

6.2 实时掌纹识别系统

在分析比较了不同的掌纹特征之后,我们定义了掌纹的特征模型并据此开发了实时掌纹验证系统。从而为检验掌纹特征模型及识别方法的优劣提供了一个方便的平台。

6.2.1 系统功能

实时掌纹识别系统包括两个主要功能：掌纹辨识和掌纹验证。掌纹辨识是指当输入一个新的掌纹图像时，将之与数据库中的所有掌纹作比较，从而判断它是与数据库中的哪个掌纹图像来自同一只手。掌纹验证是指在输入新掌纹的同时给定数据库中的某个掌纹图像，判断它们是否来自同一只手。

6.2.2 系统设计

总的来说，掌纹验证的实现过程与掌纹辨识的过程中一部分是相同的，所以这里我们着重介绍掌纹辨识的实现。掌纹辨识的实现包括两个部分：注册和识别。注册是指将掌纹图像连同它的特征及文本属性存入数据库的过程；识别是指实时输入待识别的掌纹图像并进行特征提取，然后根据特征在数据库中查找与之最接近的掌纹记录，并返回与之关联的属性信息，例如用户名、年龄、性别等。在这里几个比较重要的问题包括：注册时让用户输入几个样本，如何对待这几个样本（求均值还是把它们都存在数据库中），如何组织数据库中的掌纹图像（建什么样的索引），如何确定搜索策略等。

掌纹识别的过程可以描述如图 6-2:

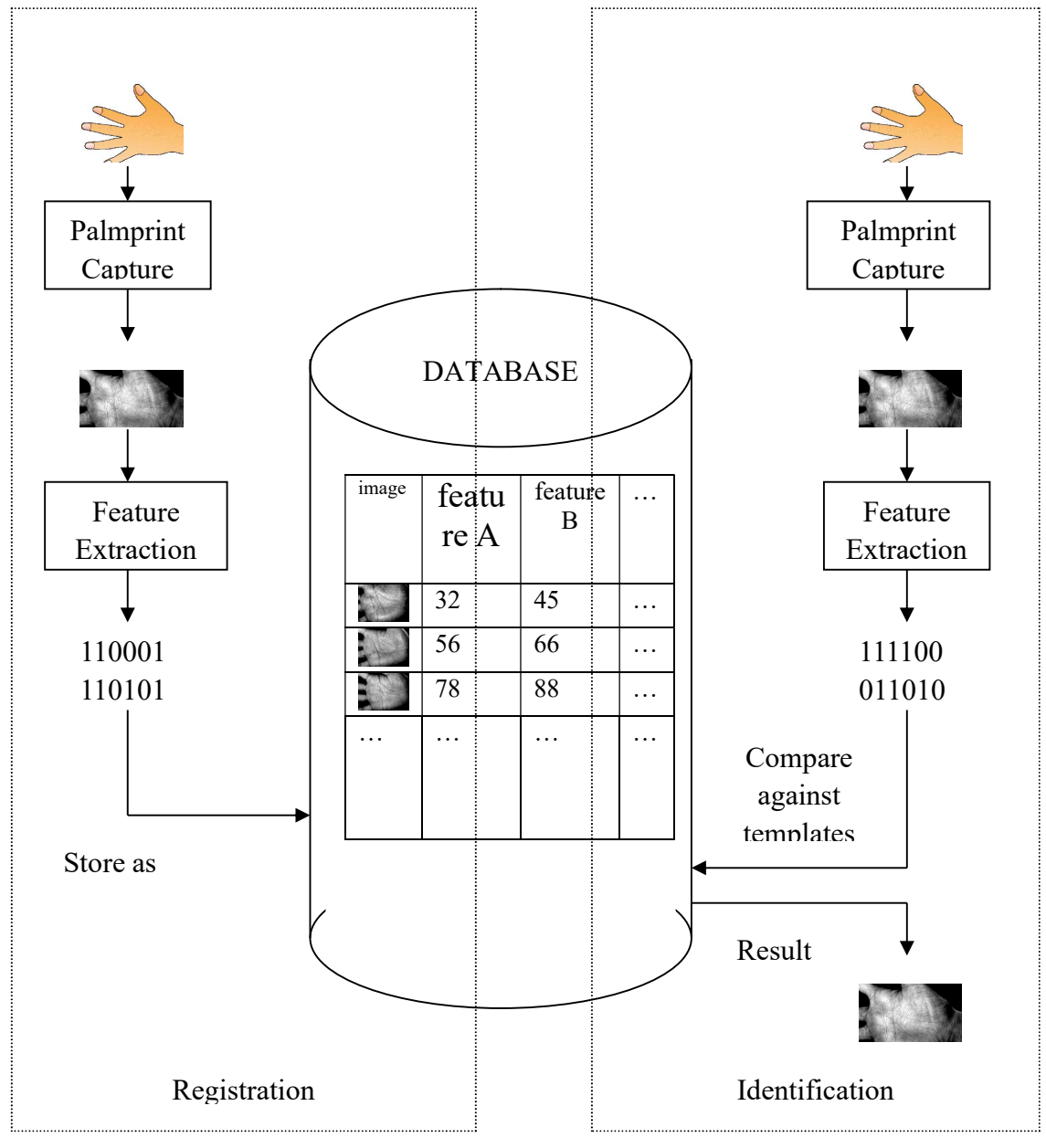


图 6-2 掌纹识别过程示意图

注册过的掌纹图像在数据库中按它们的特征属性排序，当输入一个掌纹要求识别时，新掌纹的特征被实时提取并与数据库中的特征值作对比，找出最接近的记录作为系统的输出。

6.2.3 系统界面和系统实现

掌纹输入设备外观如图 6-3。掌纹识别系统的用户界面如图 6-4 和图 6-5。该掌纹识别系统的效率评估见第 7 章实验结果。



图 6-3 掌纹输入设备



图 6-4 掌纹综合系统用户界面

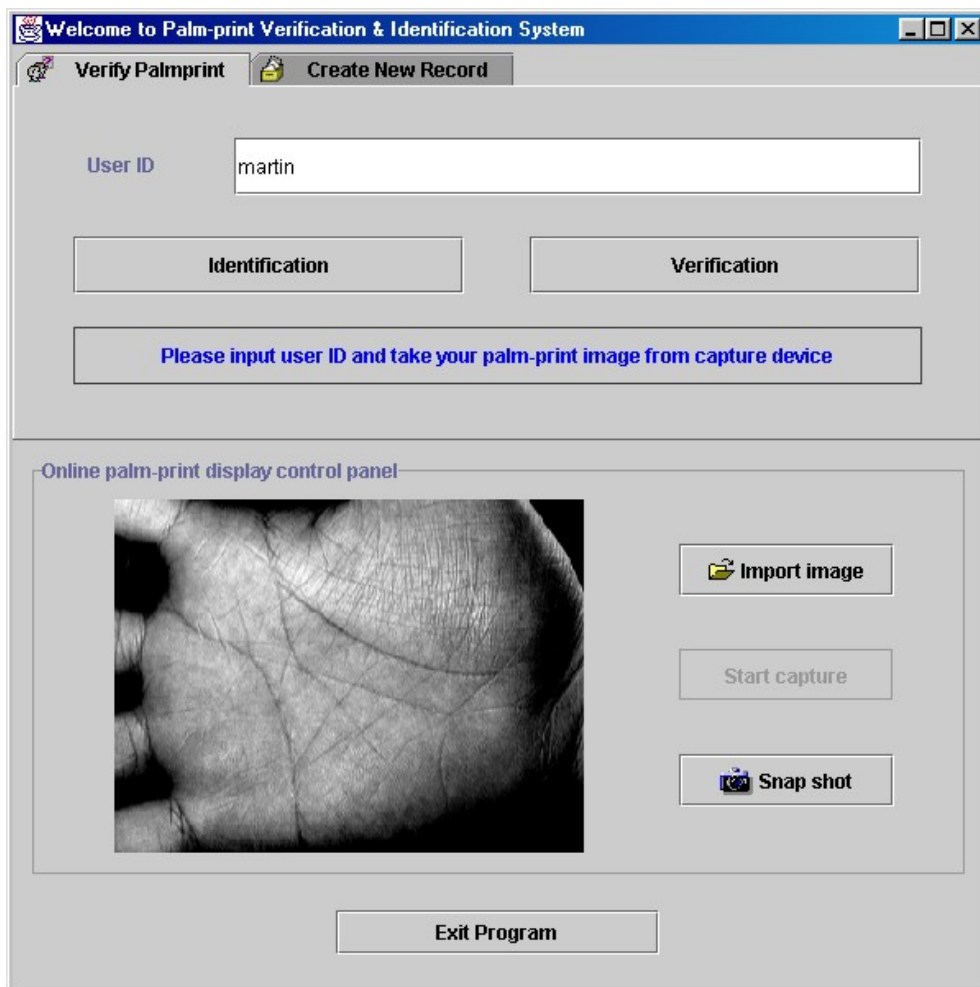


图 6-5 在线掌纹验证系统人机界面

6.3 结合灵通卡的自动提款机模拟系统

为了展示掌纹识别技术的应用前景，我们还结合灵通卡开发了一个利用掌纹特征识别技术取代密码输入的模拟银行提款机系统。

现在使用的自动提款机都是以密码作为安全保障的。但是如果密码和提款卡被盗，用户将蒙受很大的经济损失。这里主要的原因是提款机并不能确定提款卡的使用者就是卡主本人。如果用掌纹替代密码，则提款卡只能由卡主本人使用，提高了系统的安全性。当然这要

在掌纹识别的可靠性有保证的前提下。在我们的原型系统中，连接了灵通卡读写装置。用户在注册时，系统自动将其掌纹特征提取并存入灵通卡；在用户使用提款机时，先要出示灵通卡，此时系统读出用户的掌纹特征，然后系统实时采集用户的掌纹图像并作特征提取，将新得到的掌纹特征与原来存在灵通卡内的特征作比对。如果比对成功，则用户可以进入提款机服务功能界面，否则系统提示身份验证失败。图 6-6，图 6-7 给出了该系统的界面设计。



图 6-6 模拟提款机系统界面（一）



图 6-7 模拟提款机系统界面（二）

6.4 小结

本章主要介绍了我们开发的三个实用系统 – 掌纹库管理系统、实时掌纹验证系统和模拟提款机系统。其中掌纹库管理系统提供掌纹图像的采集、删除、基于文本列的查询等功能，为整个研究提供了基础。实时掌纹验证系统是我们研究成果的核心体现。它能够在一个新的掌纹到来时实时地回答在数据库里是否存在与该掌纹来自相同手掌的掌纹图像，即该手掌是否在库中注册过。模拟提款机系统是我们为着展示掌纹识别的实用价值而开发的演示系统。该系统连接了一个灵通卡读写器，当用户注册时，其掌纹特征被写入灵通卡；当用户试图使用提款机时，他必须在出示灵通卡的同时出示注册过的手掌，如果手

掌的特征与灵通卡上的相吻合，则可以使用提款机，否则，被拒绝。

第 7 章

实验方法设计和实验结果

做实验的目的是为了验证假设或发现规律。验证假设的一般过程是当我们对事物的一般规律有了某种猜测，就设计出一组实验来加以验证，如果实验结果与预期的结果一致，我们就确认了假设的成立。如果实验结果与我们的假设不同，就使得我们发现了新问题，从而有了进一步研究的依据。为着发现规律而做的实验一般是因为我们对某一事物认识不清，甚至也没有大概的估计，所以设计一些实验来试图从某些方面发现规律。我们在掌纹识别的研究中做过很多实验，在这里我们仅就一些取得了比较满意的结果的实验的实验目的、实验方法设计、预期的效果、实际取得的结果和对结果的分析总结如下：

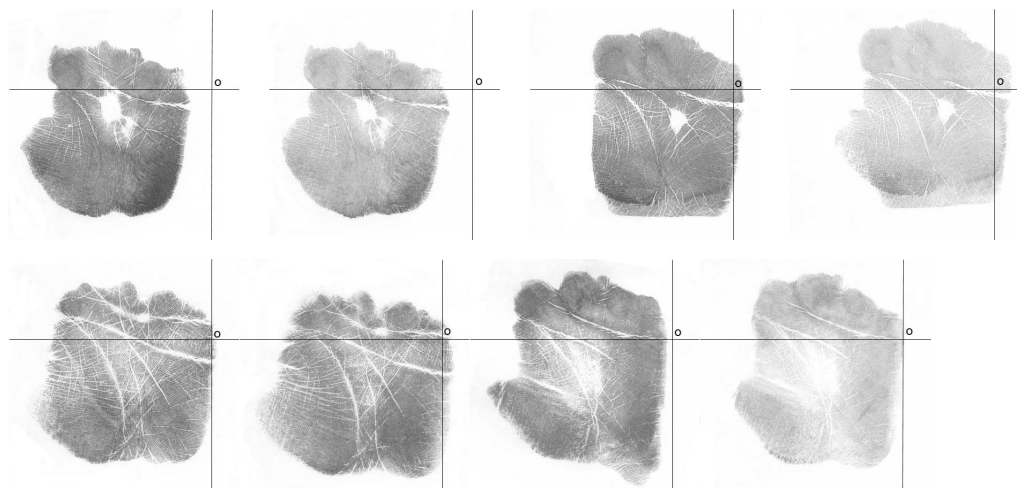
7.1 脱机掌纹特征提取实验

在我们研究在线掌纹识别以前，因为有束为的脱机掌纹数据库，所以先在这一数据库上做了一些掌纹识别方法研究的实验，以便对掌纹有个初步的了解。

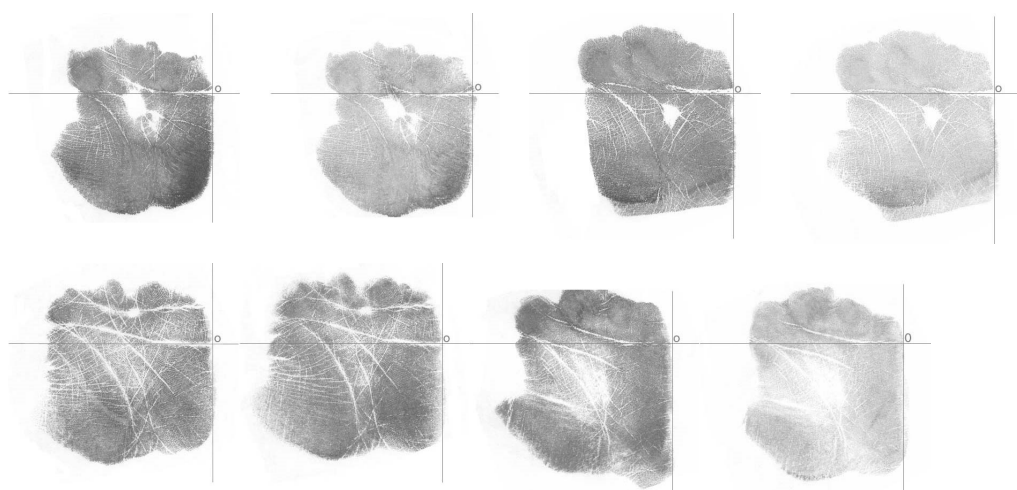
7.1.1 定位

掌纹定位的**目的**是为每个掌纹找到一个基准点和一个基准方向，从而使后续的比对有一个标准。图 7-1 显示了掌纹定位的目标，图中

上面一组掌纹是原始的掌纹图像，下面一组是我们期望得到的基于某一平面直角坐标系对准的掌纹。



(a) 定位前



(b) 定位后

图 7-1 掌纹定位的目标

我们采用的掌纹定位的**算法**是（图 7-2）：

1 - 找出掌纹边缘；

- 2 – 找出外边缘的直线方向；
- 3 – 将掌纹 2 中的方向转成竖直；
- 4 – 在掌纹右上角取一矩形区域；
- 5 – 用水平方向方向投影法找出第一主线与边缘的交点；
- 6 – 平移掌纹使 5 中找到的基准点成为坐标原点；

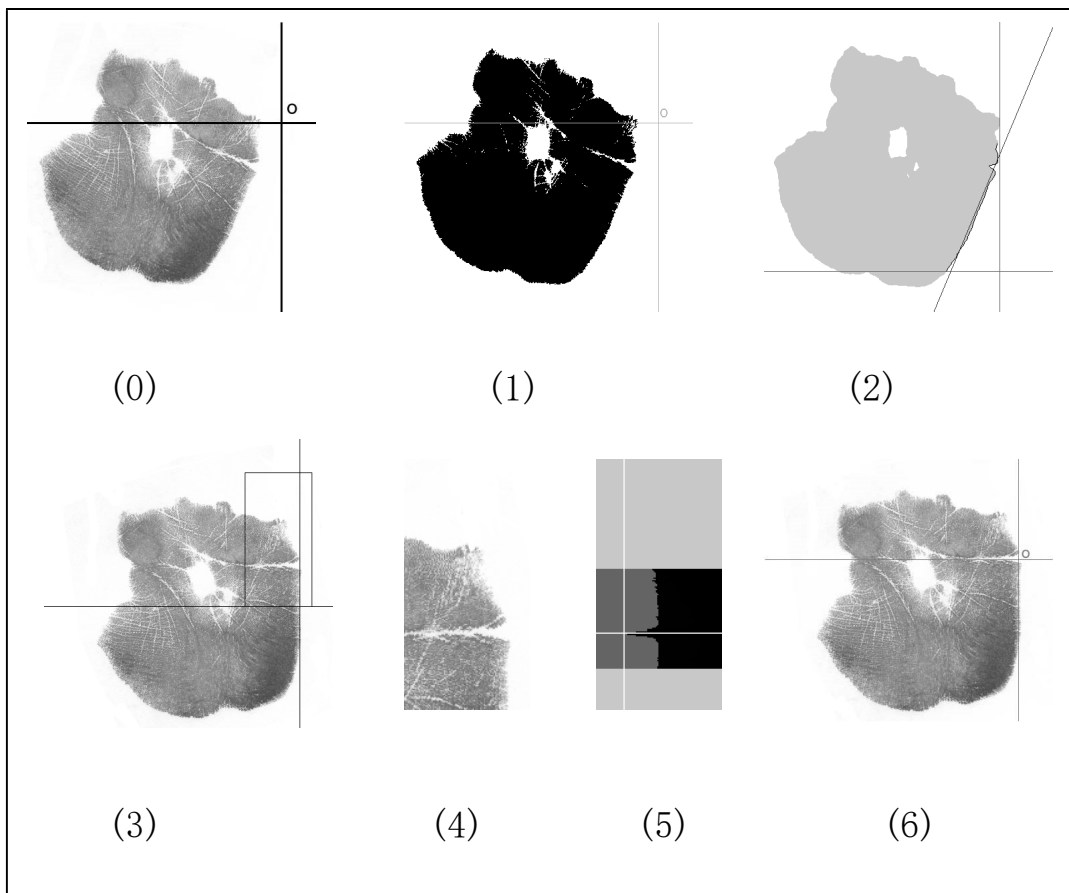


图 7-2 掌纹定位的过程

实验的**方法**是从 100 只手掌上各取 2 幅图像得到 200 幅掌纹图像，这些掌纹在图中的方向和位置是不定的，但是它们旋转的角度不超过 30° 。对所有图像用上述方法做处理，然后观察其定位的情况，成功与不成功的判断，以肉眼判断为准。表 9-1 给出了实验的结果。

表 7-1 掌纹定位的成功率

实验掌纹数目	成功定位	不成功定位	成功率
200	196	4	98%

实验**结果表明**，我们提出的掌纹定位方法在 98%的情况下是可行的，但在 2%的情况下会不成功。

实验**结果分析**，不成功的 4 个掌纹是因为它们的掌外侧边缘并非我们所假设的那样是直线，而是半圆形。

7.1.2 基于纹理分析的特征提取

基于纹理分析的特征提取是为了找到一种较好的对掌纹分类的方法。掌纹识别最终的目的是为了将来自同一只手的掌纹归为一类，而将来自不同的手掌的掌纹归成不同的类。这就需要找到一种或多种能够用来做区分的特征。评价一个特征是不是好有几条原则：

- 1 – 不同手掌的掌纹在该特征下的取值尽量分散；
- 2 – 相同手掌的掌纹在该特征下的取值尽量聚合；
- 3 – 特征提取时间尽量短；
- 4 – 特征所占空间尽量小；
- 5 – 特征的比对尽量简单。

纹理分析的方法是用一个或多个能够描述掌纹特征的纹理构形模板对图像做卷积，然后根据卷积的结果，判断掌纹与特征模板的相似程度来确定某个掌纹在多大程度上是由该纹理构形组成的。我们选择全局纹理能量来定量描述某掌纹与纹理构形模板的相似程度。模板的选择是我们假想出来的，它们分别描述了四个方向的线宽为 3 个像素点的直线，四个模板如图 7-3：

-1	-2	-4	-2	-1	-1	0	2	0	-1
0	0	0	0	0	-2	0	4	0	-2
2	4	8	4	2	-4	0	8	0	-4
0	0	0	0	0	-2	0	4	0	-2
-1	-2	-4	-2	-1	-1	0	2	0	-1
水平线					竖直线				
0	-1	-4	0	2	2	0	-4	-1	0
-1	-6	0	8	0	0	8	0	-6	-1
-4	0	12	0	-1	-4	0	12	0	-4
0	8	0	-6	-1	-1	-6	0	8	0
2	0	-4	-1	0	0	-1	-4	0	2
45° 方向线					-45° 方向线				

图 7-3 用于纹理能量分析的特征模板

全局纹理能量的计算公式如下：

$$E_A(I) = \frac{1}{n \times n} \sum_{i=a+1}^{n-a} \sum_{j=a+1}^{n-a} F(i, j) \quad (7-1)$$

$$F(i, j) = \left| \sum_{k=-a}^a \sum_{l=-a}^a (I(i+k, j+l) \times A(k, l)) \right| \quad (7-2)$$

其中，A 为模板， $E_A(I)$ 为图像 I 在 A 下的全局纹理能量。

实验一，全局纹理能量的内聚性和外展性测试。

实验的**目的**是为了验证全局纹理能量在同一只手的掌纹中变化不大，而在不同的掌纹中间变化较大。

实验的**方法**是先取一只手的 100 个掌纹图像，求出它们的全局纹理能量绘出分布图。再取 100 只手的共 100 个掌纹图像，求出它们的全局纹理能量分布图。这里在求全局纹理能量时使用的是图 7-4 中的第 1 个模板。图 7-4 给出了两张分布图叠加的情况。

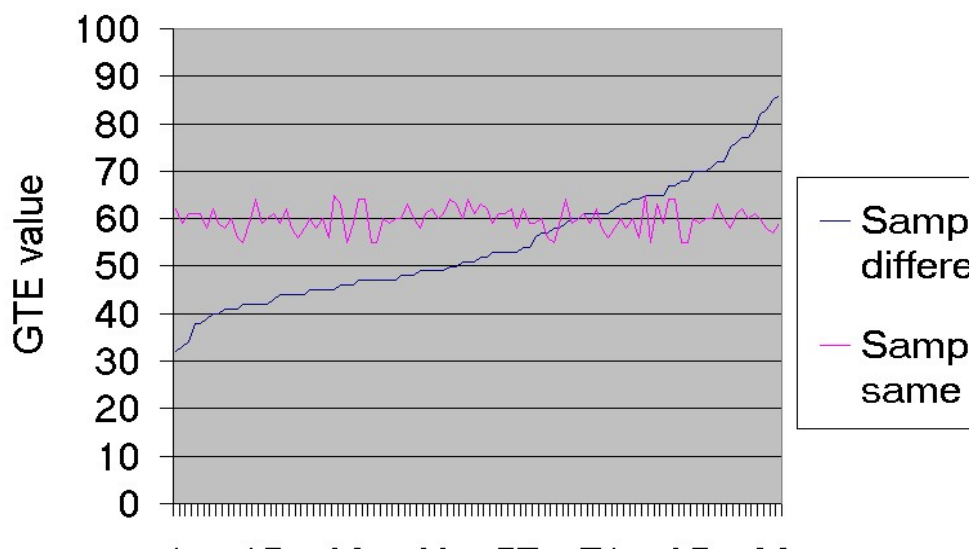


图 7-4 纹理能量的内聚性和外展性

实验**结果表明**，全局纹理能量具有一定的内聚性和外展性，可以用*来对掌纹分类，但是不能完全把掌纹分开，可以考虑将其用来做初步的筛选。

实验二，全局纹理能量的粗筛选能力。

实验的**目的**是为了测试用全局纹理能量做粗筛选的筛选能力。实验的**方法**是将 100 只手的 100 幅掌纹图像(每手 1 幅)放在数据库中，将这 100 只手的另外 100 幅(每手 1 幅)掌纹图像作测试集。对于每个测试集中的掌纹，用全局纹理能量比对的方法在数据库找出与它相似的掌纹。衡量粗选结果好坏的标准是选择的正确性和候选集的大小。

表 7-2 给出了实验的结果。

表 7-2 用全局纹理能量做粗筛选的筛选结果

	最好情况	最坏情况	平均情况	备注
候选集大小	1	28	9	正确答案均在候选集中

实验**结果表明**，用全局纹理能量做粗筛选在最好的情况下可以排除 99%的候选对象，在最坏的情况下可以排除 72%的候选对象，平均可以排除 91%的候选对象。

实验**结果分析**，有的掌纹得到的候选集小，说明它们在纹理构形上非常地与众不同，而有的掌纹得到的候选集大，说明它们在纹理构形上非常地大众化以至于它们与许多掌纹相似。另外，候选集加大的原因是我们将阈值加大以便使正确的答案均出现在候选集中，这说明正确的答案并不都排在候选集的最前面。理论上说来自同一手掌的掌纹不论怎么测量都应该是最相近的，造成变化的原因主要是掌纹采

集过程中采像质量的变化，如旋转、平移、变形、着墨不均等情况，所以继续努力的方向有两个，要么对采到的掌纹加强研究，找出相同手的掌纹之间变化中的不变性；要么改进采样设备和方法以便保证采样质量的不变性，减低后续处理的难度。我们选择了后者。

7.2 掌纹采集设备开发中进行的实验

掌纹采集设备的开发包括硬件的设计和各種软参数的调整。图 7-5 给出了我们自行设计开发的采集设备的结构示意图。

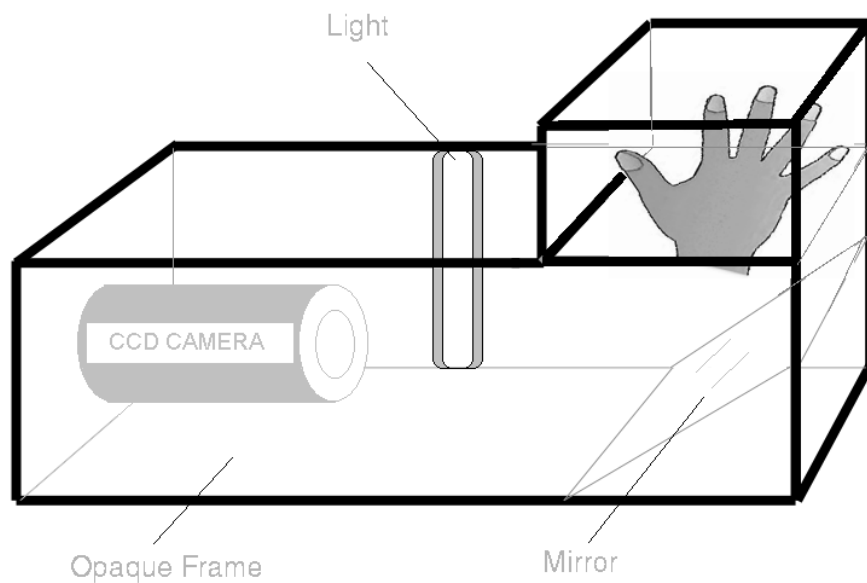


图 7-5 掌纹采集设备硬件结构图

软参数调整包括调整图像的亮度、对比度和分辨率。图 7-6 给出了不同参数值下获得的掌纹图像。经反复实验最后我们确定了如下的参数值：亮度=53，对比度=255，分辨率=60dpi。



(a) B=128 C=128 R=60dpi



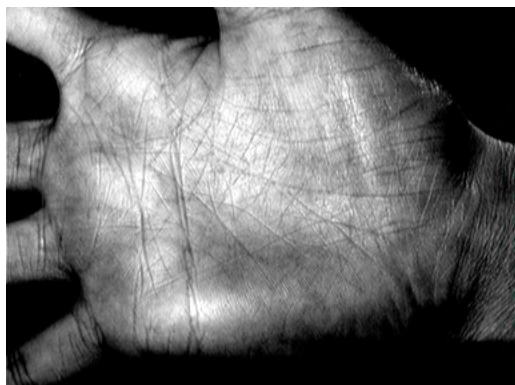
(b) B=53 C=255 R=120dpi



(c) B=70 C=255 R=60dpi



(d) B=53 C=255 R=60dpi



(e) B=53 C=255 R=60dpi



(f) B=53 C=255 R=30dpi

图 7-6 不同参数取值下的图像

(B - 亮度, C - 对比度, R - 分辨率)

7.3 在线掌纹特征提取实验

在线掌纹特征提取包括定位、全局特征提取和局部特征提取三部

分。定位是指为掌纹建立一个参考坐标系，以便掌纹对齐。这样特征提取和比对才能进行。在我们的系统里，只有掌纹的中心区域被用作特征提取。特征提取包括全局特征提取和局部特征提取。全局特征主要用于为掌纹库建索引以提高查找速度。局部特征用作相似掌纹之间的精细比对，以给出最终的结果。

7.3.1 定位

在掌纹定位中，两两手指之间的关键点被用来确定掌纹的坐标系。图 7-7 给出了掌纹关键点和坐标系统的定义。

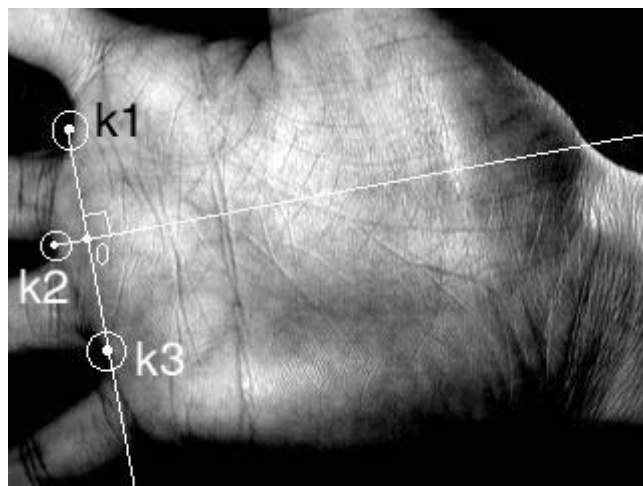


图 7-7 掌纹关键点和坐标系统的定义

确定关键点 k_1 , k_2 , k_3 的步骤如下：

1) 用阈值 α ，将原始灰度图像转成二值图像（图 7-8 (b)）。

$$I_{BinaryMap}(i, j) = \begin{cases} 1 & I_{GrayMap}(i, j) \geq \alpha \\ 0 & I_{GrayMap}(i, j) < \alpha \end{cases} \quad (7-3)$$

其中 α 是阈值。

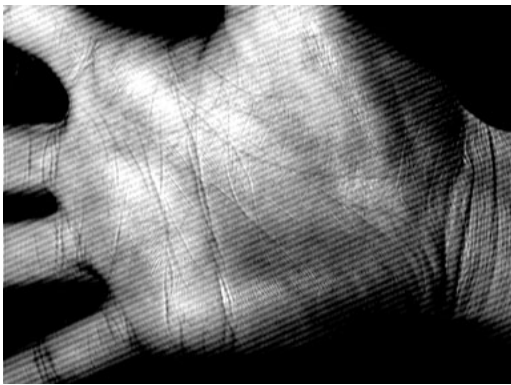
2) 将二值图像平滑（图 7-8 (c)）。

$$I_{SmoothedMap} = I_{BinaryMap} * A, \quad (7-4)$$

其中 A 是高斯过滤器。

- 3) 跟踪手指之间的黑洞边界 (图 7-8 (d))。
- 4) 计算黑洞的重心并得到相应的关键点 - k_1, k_2, k_3 , (图 7-8 (e))。
- 5) 将 k_1 和 k_3 的连线作为 Y 轴。从 k_2 作一条垂线到 Y 轴, 该垂线与 Y 轴的交点定义为掌纹坐标系的原点 (图 7-8 (f))。

当我们确定了掌纹的坐标系后, 掌纹中心区域被从掌纹图像中分离出来用作特征提取 (图 7-9)。



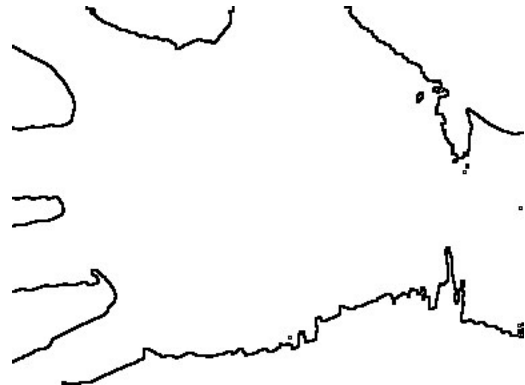
(a)



(b)



(c)



(d)

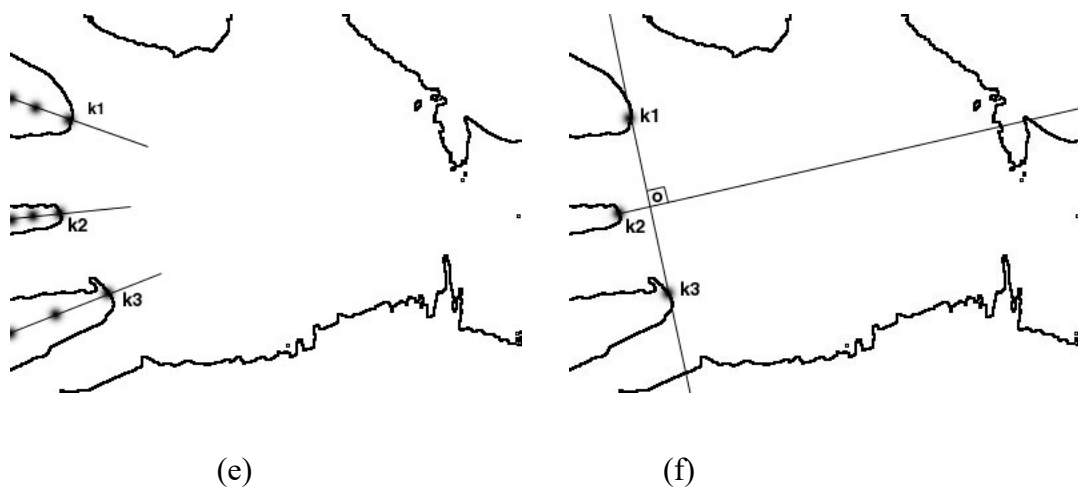


图 7-8 掌纹坐标系确定过程

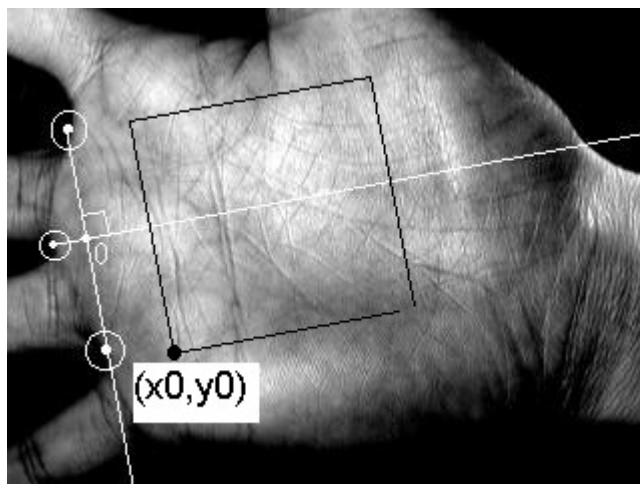
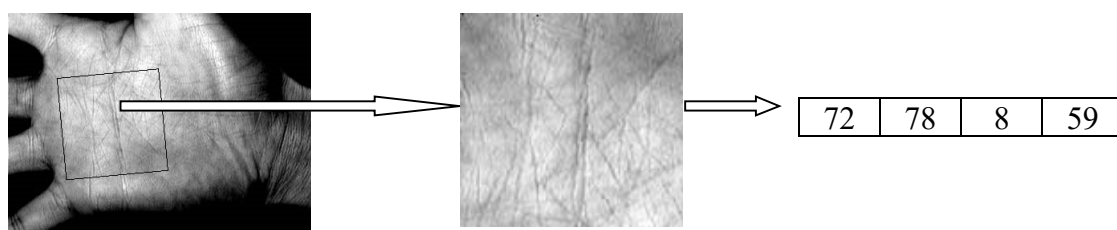


图 7-9 掌纹中心区域示意图

7.3.2 全局特征提取

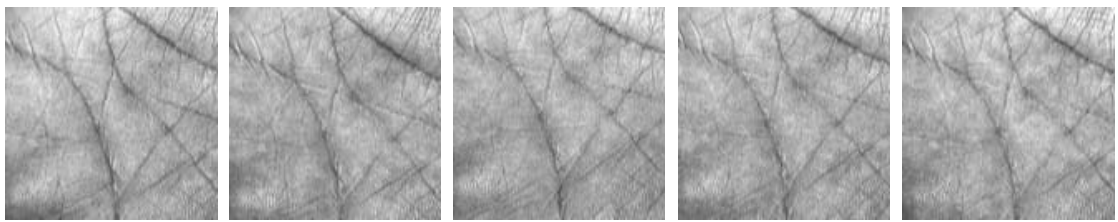
在我们的掌纹识别系统中主要时使用了四个全局特征，用一个矢量 $E_i (i=1,2,3,4)$ ，来表示。使用全局特征可以对掌纹作粗分类。图 7-10 示意了全局特征的获得过程。图 7-11 显示了全局特征和掌纹之间的关系。图 7-11(a) 是一组来自相同手掌的掌纹图像；图 7-11(b) 是一组来自相似掌纹的图像；图 7-11(c) 是一组来自外观差异很大的手



掌的掌纹图像。表 7-3 给出了每组掌纹图像之间的平均距离。很显然

(a) 组图像之间的距离最小；(b) 组图像之间的距离其次；而 (c) 组图像之间的距离最大。

图 7-10 掌纹全局特征提取过程示意图



(60, 44, 48, 34) (60, 46, 40, 35) (50, 42, 40, 33) (56, 44, 48, 34) (60, 46, 40, 36)

(a)



(66, 52, 40, 40) (54, 46, 24, 37) (64, 60, 40, 42) (66, 42, 40, 35) (56, 46, 40, 39)

(b)



(72, 78, 8, 59) (94, 92, 48, 75) (50, 56, 88, 49) (54, 34, 8, 28) (46, 46, 56, 34)

(c)

图 7-11 掌纹图像和全局特征的对应关系

表 3 图 7-11 中三组掌纹图像的平均距离

	组 (a)	组 (b)	组 (c)
特征 1 上的平均距离 (0-100)	4.8	6.4	24.6
特征 2 上的平均距离 (0-100)	2	8.4	29.6
特征 3 上的平均距离 (0-100)	4.8	6.4	41.6
特征 4 上的平均距离 (0-100)	1.4	3.4	23.8

7.3.3 局部特征提取

尽管全局特征可以用来区分大部份掌纹，它对区分相近的掌纹仍很困难。所以，我们引入了局部特征作相似掌纹的精细比对。局部特征提取的基本思想是先将掌纹图像分割成小块，计算每个小块内的平均灰度，然后将所有小块内的数值排列成一个一维数组。该一维数组就是掌纹的局部特征。局部特征之间的距离定义为两个数值串之间的线性相关系数。局部特征可以用作对掌纹进行精细比对。图 7-12 给出了掌纹局部特征和掌纹之间的关系。图 7-12(a)-(b) 是来自手掌 A 的掌纹图像，图 7-12(c)-(d) 是来自手掌 B 的两个掌纹图像。它们的局部特征显示在图 7-12(e) 左边。图 7-12(e) 右边的表格中给出了两两掌纹之间的距离。显然，来自相同手掌的掌纹之间的距离要远远小于来自不同手掌的掌纹之间的距离。



(a) Person A – sample 1



(b) Person A – sample 2



(c) Person B – sample 1



(d) Person B – sample 2

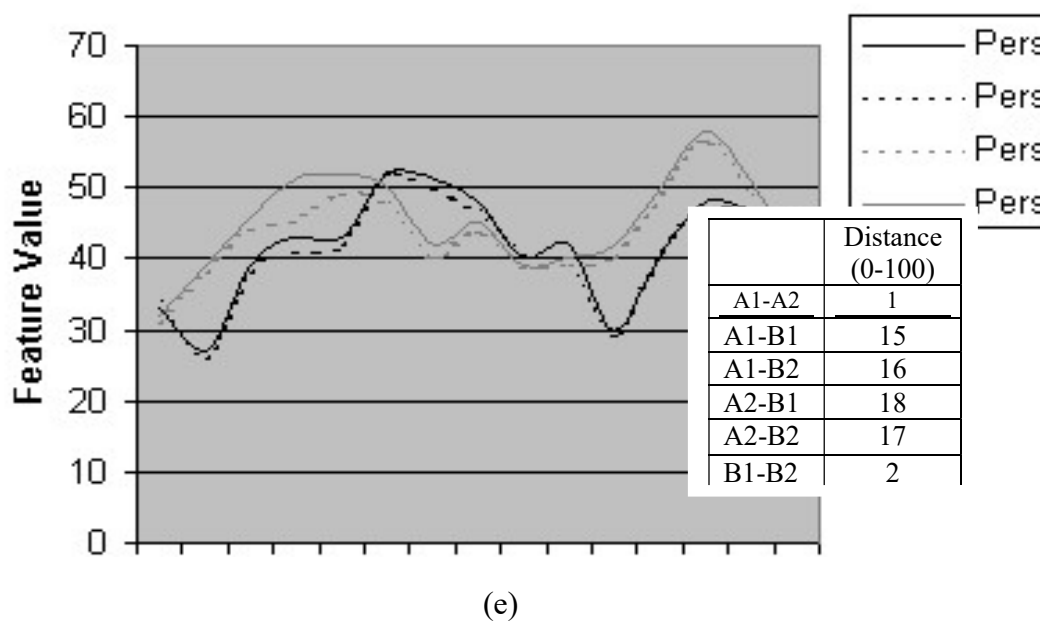


图 7-12 掌纹的局部特征与掌纹之间的关系

7.4 系统测试中进行的实验

在线掌纹识别区别于脱机掌纹识别之处在于图像的获取方式不同。在线掌纹的获取是通过一个联机的输入设备，实时地将掌纹图像输入到计算机内。在线掌纹识别的特点是：

1 – 由于每次采样使用同一设备，所以采到的图像质量较稳定，更适合做全自动化的处理。

2 – 由于获取容易且可多次重复，所以比较容易建立大容量的数据库。

3 – 识别方法的改进可以同设备的改进同时进行。

我们应用自行研制的掌纹输入设备，开发了一个掌纹自动识别系统，并对系统识别效率进行了一定规模的测试。

测试的**目的**是为了了解系统的识别效率和完成一次识别所用的时间。测试的**方法**是分 3 次来测。第一次让系统学习 60 个人的掌纹，每人学一次，之后用这 60 个人来测，每人测 2 次共 120 次，算出识别率和识别时间。第二次让系统学习 60 个人的掌纹，每人学 2 次，之后用这 60 个人来测，每人测 2 次共 120 次，算出正确的识别率和识别时间。第三次让系统学习 60 个人的掌纹，每人学 3 次，之后用这 60 个人来测，每人测 2 次共 120 次，算出正确的识别率和识别时间。表 7-4 给出了系统在学习 1、2、3 次下的识别率。

表 7-4 掌纹识别系统的识别率

	正确率
学习 1 次	77%
学习 2 次	89%
学习 3 次	99.2%

测试**结果表明**本系统在对每个手掌学习三次后识别效果达到满意程度。

7.5 小结

本章主要介绍了我们在研究中所做的一些比较主要的实验及其实验结果。其中包括脱机掌纹的定位和特征提取实验、在线掌纹的定位和特征提取实验、掌纹采集设备硬件开发中所做的参数调整的结果、掌纹识别系统的效率检验实验结果。这些实验结果充分显示了论文前面所介绍的方法的可行性和实用性。

第 8 章 对几个有挑战性的理论问题的 分析研究和解决方案设计

8.1 基于竞争网络结构的掌纹识别系统

在已实现的掌纹识别系统里，判别函数所使用的参数都是固定的，系统没有主动学习的能力。而在现实应用中，我们往往需要系统能够随着被使用的次数的增加而具有一定的学习和自适应能力。基于这样的考虑，我们设计了一个基于竞争网络结构的掌纹识别系统。这里，

我们首先给出了设计识别系统所要考虑的要素，然后分析了系统可能的识别效率和系统学习中可能遇到的学习冲突及其解决方案，最后我们给出了一个基于网络结构的掌纹自动识别系统的设计和实现方案。系统的主要功能包括学习、判定和报警三大功能。学习功能包括 1) 同一只手的掌纹在某一特征下取值的分布情况；2) 不同手的掌纹在某一特征下取值的分布情况；3) 对于某一只手来说，哪些特征在多大程度上使得它显得与众不同。判定功能是系统根据所学经验对某一输入掌纹判断其属于哪一只手或是否是属于没被学习过的手。报警是指根据预先对系统局限性的分析，定义若干出口条件，当这些条件被满足时，系统自动向外报警，要求人工参与纠正系统中出现的问题。

值得一提的是，在我们定义的识别系统中，并没有给出学习的一致性和收敛性证明，而且我们也不假设学习一定是收敛的，只是给出预期的学习方向，当学习偏离了预定的方向时，系统会发出警报，要求人来参与分析问题产生的原因，并对系统做出修改。这一报警机制将在 8.1.5 中详细介绍。

8.1.1 设计识别系统所考虑的因素

设计识别系统应该从以下几个方面考虑：

- 系统的基本功能

因为开发系统的目的是用来做识别，所以具有良好的识别能力是系统应该具备的基本功能。

- 系统的智能

识别系统在最初建立时总是基于一定数量的样本，而它在被使用过程中应该具备一定的自适应能力即学习能力，包括可以学会分辨新类别，可以通过对一类样本的多次学习提高对该类的认识等等。

- 系统的局限性

任何系统都会有其局限性。有些局限在设计时就是已知的。对于已知的局限系统应该有所了解。当系统的局限性被某些样本揭示出来时，系统应该自动提示要求人的参与以对那些边缘样本（会引起系统混乱的样本）进行研究而后改进系统。

8.1.2 对系统设计原理的分析

依据 8.1.1 的分析，系统应该具备如下的能力：

A 判别能力

B 学习能力

C 报警能力

A 判别能力

首先我们来分析一下系统的判别原理。在关于特征模型的分析中，我们将每个样本用一组特征向量来表示。假设同一类的样本在某个特征分量上的取值遵从正态分布，则单一特征用来做判别的原理就是找到两个正态分布函数的交点作为分界线。这就是一维贝叶斯判别法（图 8-1）。同样的方法可以推广到多维。所以寻找判别函数的过程就是确定两类的分界线的过程。

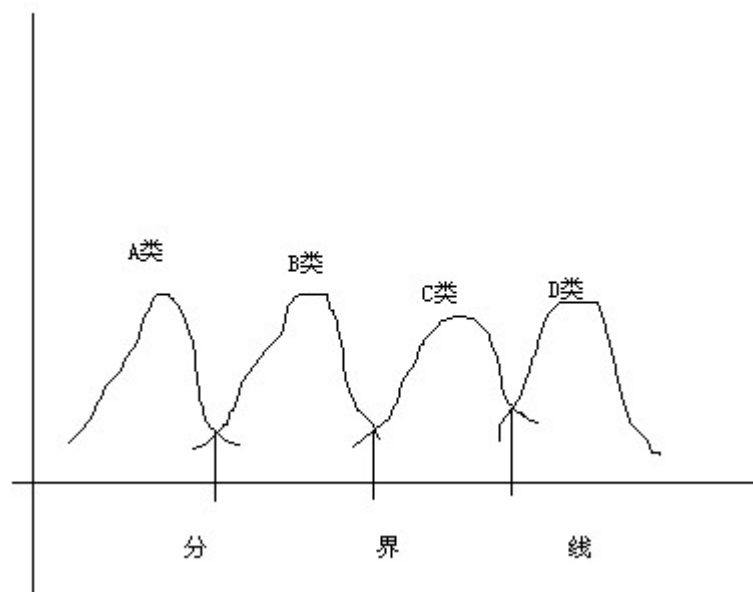


图 8-1 贝叶斯判别法

B 学习能力

在这里我们把学习分为两个层次的学习。第一层是对单一特征分界线的学习，第二层是对多特征综合判别函数的学习。对单一特征分界线的学习可以有两种：第一种是只记住每类的数学期望，在判别时计算新样本距离哪个类的数学期望近就判定它属于哪一类；第二种是记住所有学过的样本，事实上这等于记住了每类的特征分布函数即数学期望和方差都被记住。那么判别时可以根据各类的方差设立不同的阈值。第二层对多特征综合判别函数的学习，可以假设判别函数是所

有特征的线性组合，那么学习过程就是学习线性判别函数的系数。

C 报警能力

从 A、B 的分析中可以看到，系统如果出现下列两种情况之一就会发生混乱现象：

- 两个类的样本在所有特征下的概率分布密度都很接近，使得系统无法区分这两类样本，这时系统应该发出警报要求人的干预。
- 一个类的分布函数不遵从正态分布，数学期望和方差都会随着时间的变化而变化。这说明该特征不象想象的稳定，系统应该自动发出警报提示。

8.1.3 竞争网络的定义及其判别功能

网络分三层：特征层、类别层、竞争层（图 8-2）。这样一个网络系统可以用来作判别。

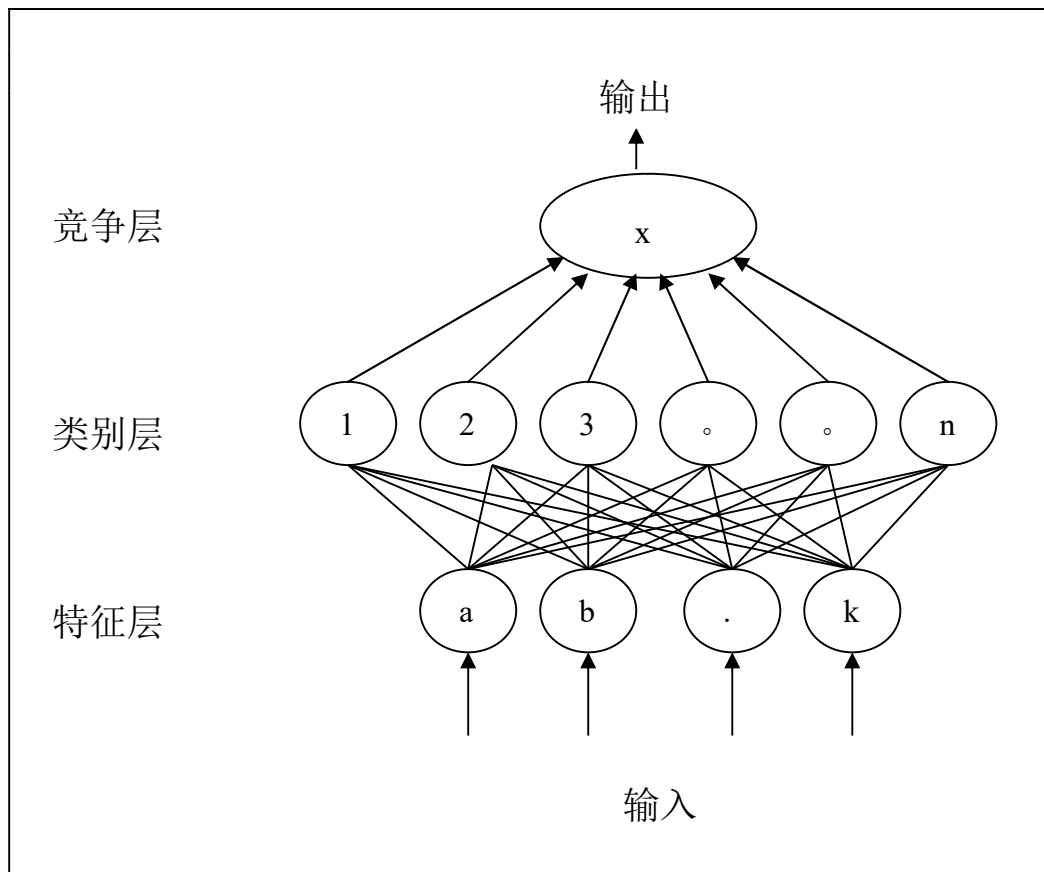


图 8-2 网络的定义

在图 8-2 中，特征层每个节点代表一个特征（如面积、色泽等），类别层每个节点代表一个类别即某个人，竞争层的节点代表某次判别最终获胜的类别。特征层的节点可以根据输入激活类别层的相应节点，类别层的节点可以根据输入判定自己的能量，竞争层的节点可以使能量最高的类别获胜。一次判定的过程可以描述如下：

- 1 – 系统接受一组代表某个掌纹的特征值；
- 2 – 特征层的节点被激活，每个节点根据自己的输入，判断出可能的类别，从而激活类别层的相应节点；
- 3 – 类别层的一个节点可能受到来自特征层的多次刺激，受刺激的次数越多，其能量越大，达到一定能量的节点会上升到竞争层；
- 4 – 在竞争层，能量最大的类别获得胜利而成为最终的判别结果被输出。

8.1.4 竞争网络的学习功能

在上一节描述的网络中，网络在初始状态下，没有任何类别层节点，而特征层节点也毫无判别能力，整个系统是在对样本的学习过程中成长的。

8.1.4.1 网络对样本特征的迭代式学习

网络对样本特征的迭代式学习主要是让特征层节点学会判断各种特征取值下可能对应的类别，同时也产生相应的类别节点。它的特点是在每个特征节点中，一个类别只对应一个特征值。对一个类别的多个样本的学习会使该类别对应的特征值更接近其类的均值。学习的过程是这样的：每个特征节点得到两个输入：类别和特征值。首先判断该类别是否学习过，如果没有学过，就记住该特征取值下对应输入类别；如果是已经学过的类别，就将新的特征值与原来该类的特征取

值求某种平均值，然后记住在得到的平均值下对应该类别。

用一个简单的例子来说明：假设特征节点 a 记录的是面积属性，而它是用一个查找表来判定类别的，如表 8-1：

表 8-1 用于判别特征值和类别对照关系的查找表

特征取值	类别序号
...	...
...	...
51	1, 2,
52	3, 8, 10
53	7, 9, 11
54	5, 12
55	4
...	...
...	...
...	...

当新的类别 13 连同它的面积 53 被输入时，13 被插入上表中，上表变成表 8-2：

表 8-2 插入了新类别的查找表

特征取值	类别序号
...	...
...	...
51	1, 2,
52	3, 8, 10
53	7, 9, 11, 13
54	5, 12
55	4
...	...
...	...
...	...

当旧的类别 11 连同它在面积上的新取值 51 被输入时，因为 51 与 53

的平均值为 52，所以上表变成表 8-3：

表 8-3 已有类别的新样本被学习后的查找表

特征取值	类别序号
...	...
...	...
51	1, 2,
52	3, 8, 10, 11
53	7, 9, 13
54	5, 12
55	4
...	...
...	...
...	...

学过了这些知识后，该特征节点就可以判断在某个特征值下可能的类别。但是它只记录了每个类别的可能取值的某种均值，并不知道它们的分布情况。所以在作判定时，要在一特定的取值上下浮动一定距离后给出可能的类别。例如，当输入 53 时，可以激活类别 3, 8, 10, 11, 7, 9, 13, 5, 12。下一节介绍的记忆式学习记录了每一个类别在某个特征下的分布情况。

8.1.4.2 网络对样本特征的记忆式学习

与网络对样本特征的迭代式学习相同，记忆式学习也是让特征层节点学会判断各种特征取值下可能对应的类别，同时产生相应的类别节点。但是它在学习的过程中记录了每个类别在所有特征上的所有可能的取值。从而为研究相同类别的不同次取样在该特征下的取值分布情况提供了依据。

类似上述的例子：假设特征节点 a 记录的是面积属性，它是用一个查找表来判定类别的，在记忆式的学习中，它的查找表可以表示成如表 8-4：

表 8-4 记忆式学习方式下特征节点内的查找表

特征取值	类别序号
...	...
51	1*9, 2*1,
52	1*1, 2*9, 3*2,
53	3*8, 4*3,
54	4*7,
55	5*10,
...	...

其中，1*9 表示类别 1 出现面积为 51 的次数为 9，而 1*1 表示类别 1 出现面积为 52 的次数为 1。当新的类别 6 连同它的面积 53 被输入时，13 被插入上表中，上表变成表 8-5：

表 8-5 插入了新类别的记忆式查找表

特征取值	类别序号
...	...
51	1*9, 2*1,
52	1*1, 2*9, 3*2,
53	3*8, 4*3, 6*1
54	4*7,
55	5*10,
...	...
...	...

当旧的类别 5 连同它在面积上的新取值 54 被输入时，上表变为表 8-6：

表 8-6 已有类别的新样本被学习后的查找表

特征取值	类别序号
...	...
...	...
51	1*9, 2*1,
52	1*1, 2*9, 3*2,
53	3*8, 4*3, 6*1
54	4*7, 5*1
55	5*10,
...	...
...	...
...	...

当特征节点学习了各个类别在其上的特征分布情况后，在作判定时，可以直接给出可能的类别。例如，当输入面积 52 时，可以激活 1, 2, 3。

8.1.4.3 网络对不同特征在判定中的重要性的学习

网络对不同特征在判定中的重要性的学习是为了了解各种特征在判定中所起的作用，从而为评价特征在判定中的有效性，优选特征和优化系统结构，提高系统效率提供依据。学习的方法是在各个特征节点向上激活可能的类别节点时给予一定的兴奋度。当输入某个类别的样本时，在这个类别节点上记录来自不同特征节点的刺激兴奋度。以刺激的兴奋度来衡量各特征节点在判定中的贡献，兴奋度高的比兴奋度低的贡献要大。对于每个特征节点，兴奋度的给出是用 1 除以所有可能的类别的个数。例如在表 8-3 中，特征值为 52 的输入下，类别 3, 8, 10, 11 各得到 0.25 度的刺激。而在表 8-6 中，特征值为 52 的输入下，类别 1, 2, 3 各得到 0.33 度的刺激。

假设我们有两个特征 a-面积和 b-色泽，分别有各自的查找表 8-7

和表 8-8:

表 8-7 特征 a 的查找表

面积	类别序号
...	...
...	...
51	1*9, 2*1,
52	1*1, 2*9, 3*2,
53	3*8, 4*3,
54	4*7,
55	5*10,
...	...
...	...

表 8-8 特征 b 的查找表

色泽	类别序号
...	...
...	...
21	1*9,
22	1*1, 3*2,
23	3*8, 4*3,
24	4*7, 2*10
25	5*10,
...	...
...	...

当输入（类别-1，面积-51，色泽-21）进行学习时，类别 1 从特征面积那里得到 0.5 度的刺激，而从色泽那里得到 1 度的刺激。当我们一旦发现各种特征在判断中存在某种规律时，就可以用来改进判断对各种特征的依赖方式从而提高系统效率。

8.1.5 竞争网络的学习冲突报警功能

在我们定义的基于竞争网络的学习系统中，有以下几种情况是我们不希望出现，但却不一定不出现的情况。

- (1) 在学习过程中，发现某一类的一个新样本在很大程度上偏离了该类的原有的均值。发生这种情况有可能是因为这个样本是由于噪声或其它暂时性干扰而发生异常，如果是这样就删除它。

还有可能是该手掌纹理发生了重大改变，那么需要抛弃旧样本重新学习。

- (2) 某一类对象的特征取值随着时间的推移而不断变化。这说明该特征是不稳定的，可以考查特征变化的速度决定是抛弃该特征还是定期抛弃旧样本。
- (3) 系统学习到一定程度后，发现对于一个未知类别的新样本，可能给出多于一个的判别结果。发生这种情况可能是由于现有特征不足以判别相似的手掌，也可能是判别条件过于宽松。如果是前者则需要考虑增加新特征或改进现有的特征模型。如果是后者可以考虑抛弃一些边缘样本，加强对判别条件的约束。
- (4) 当然还可能出现一些其它的不可预测的学习冲突，这就需要我们不断观察系统的运行情况，以便发现问题和解决问题。

应该说我们设计的这一网络系统不仅可以让系统进行学习，更可以让我们自己通过对网络运行状态的观察学习掌纹的不变特征和可变特征的变化规律。

8.1.6 竞争网络的实现

本章中描述的网络可以用下述的简单方法来实现：

- 1 – 将每个特征节点定义成一个类，类中将从特征值到类别的查找表定义成属性变量，类中有构造函数，学习函数，判定函数和用于激活类别节点的刺激函数。

- 2 – 将类别层节点合起来定义成一个类，类的每一个实例是网络

中类别层的一个节点。

3 – 将竞争层节点定义成一个类，该类完成综合的判定功能。

具体的定义如下：

```
CLASS 判别系统 {
```

```
    ARRAY 手掌们[];
```

```
    /*****
```

```
    数组变量-手掌们-记录着所有可能成为答案的手掌，在每个可能的  
    手掌内部，记录着它们得到的能量。这些手掌是由特征 1 至特征  
    n 的判别函数生成的，它们得到的能量也由特征 1 至特征 n 的判  
    别函数来改变
```

```
    *****/
```

```
    ARRAY 特征们[];
```

```
    /*****
```

```
    数组变量-特征们-记录着所有特征判别函数的进行情况，只有等到它  
    们全部完成时，系统才做出判断。
```

```
    *****/
```

```
    人名 判别函数（一组特征值） {
```

```
    /*****
```

```
    这一函数完成整个判别过程，它以代表输入手掌的一组特征值为输  
    入，最终以人名的方式返回判定结果。
```

```
    *****/
```

```
        1. 征 1 至特征 n 的判别函数;
```

2. 不停地巡视变量-特征们-等待来自特征 1 至特征 n 判别函数的全部结束;

3. 在变量-手掌们-中找到能量最高的, 并将它所属的人的人名返回, 作为判断的最终结果。

```
}  
}  
  
CLASS 手掌 {  
  
/*****  
  
    每个手掌的实例代表一个可能的答案。  
  
*****/  
  
    String    人名;    // 表明手掌所属的人的名字。  
  
    LONG      能量;    // 表示这个可能的手掌获得的能量。  
  
    构造函数 (类别编号) {  
  
/*****  
  
    这个函数初始化一个手掌类的实例。  
  
*****/  
  
        查出对应的名字。  
  
        设初始能量为零。  
  
    }  
  
}  
  
CLASS 特征 1 {
```

```
/*
```

这个类的实例可以根据特征值给出可能的手掌候选集。

```
*/
```

```
/*
```

属性-查找表-记录了属性值到类别的对照关系。它在实例初始化时被从硬盘读入。在实例消亡前被写回硬盘。

```
*/
```

查找表;

```
/*
```

构造函数完成将查找表初始化的工作。

```
*/
```

构造函数 ();

```
/*
```

学习函数完成将修改查找表的工作。

```
*/
```

学习函数 (特征值, 类别);

```
/*
```

判别函数生成可能的手掌实例并修改可能手掌的能量。

```
*/
```

判别函数 (特征值) {

1 - 根据查找表, 找出可能的手掌。

2 - 对于每一个可能的手掌, 查找-判别系统中的可能手掌列

表，如果不存在生成一个新的手掌实例，并将其插入可能手掌列表中，如果存在就增加相应手掌的能量。

```
    }  
}
```

```
CLASS 特征 2 {
```

```
    /*****
```

```
    与特征 1 类似，只是查找表不同能量值确定方式可能不同。
```

```
    *****/
```

```
}
```

```
.....
```

8.2 识别系统的效率及推广可信度分析

当开发出一个系统后，我们就要对系统的效率进行评估，评估的目的一方面是为了检验系统是否达到设计的要求，另一方面是为了预测系统在投入使用后的可信程度。对于一个具有学习能力的身份验证系统，它的识别效率会随着它被使用的次数而变化，第一如果某个人使用次数多了，它会越来越认识这个人；第二当使用的人多了，它的识别效率可能会下降。所以可以对它做两类检验，即固定人数改变学习次数的检验和固定学习次数改变人数的检验。

8.2.1 识别效率与学习次数的关系

考查识别效率与学习次数的关系是为了明了该系统在识别某一个人前，对它进行多少次学习后可以使识别效果达到最佳。试验的方法可以是固定 N ($N > 10$) 个人，在不同时间对每个人采集 M ($M > 2$) 个样本。将 $N * M$ 个样本随机地分成两组分别为 $N * M_1$ 和 $N * M_2$ ，其中 $M = M_1 + M_2$ 。将 $N * M_2$ 作为测试集，将 $N * M_1$ 作为学习后备集。分别对系统做 M_1 次学习，用测试集测试每次学习后的识别效率。这 M_1 次学习分别是以 $N * 1$, $N * 2$, $N * 3$, ..., $N * M_1$ 个样本为学习对象，考查识别效率与学习次数之间的关系，绘出变化曲线，找到使识别效率趋于平稳的学习次数。

举一个例子，在我们的掌纹识别系统中，可以将 N 定为 50， M_1 定为 40， M_2 定为 30。也就是说找到 50 个人，每个人采集 70 个掌纹图像，将 70 个掌纹图像分成 30+40 的两组。用 50*40 个掌纹图像做测试集，其余 50*30 个掌纹做测试后备集。做第一组试验，用 50*1 个掌纹训练系统，然后用 50*40 个掌纹测试系统，得到第一个识别率。做第二组试验，用 50*2 个掌纹训练系统，然后用 50*40 个掌纹测试系统，得到第二个识别率。依此类推，得到 30 个识别率，绘出识别率与学习次数的关系图，以便发现规律。假定我们得到了如图 8-3 的分布图，就可以肯定系统对某个人学习了 9 次后，再多学习对提高识别率帮助不大，那么在系统开始使用前，就可以让使用者为系统输入 9 个用于学习的样本。

Relationship Between Learning Times and Recognition Rate



图 8-3 识别效率与学习次数的关系图

8.2.2 识别效率与人数的关系

研究识别效率与人数之间的关系是为了回答以下两个问题：

1. 当我们在一定容量的样本学习集上测定了系统的识别率后，可以以多大的可信度和多高的识别率向更大的人群推广？
2. 如果我们希望在确定的人数上使用该系统，并期望一定的可信度下达到一定的识别效率，应该在多大容量的样本上研究识别算法？

这两个问题其实是一个问题，即研究在固定的识别系统下，系统识别率 P 与样本数量 n 、推广可信度的关系 t 之间的关系问题。

如果固定推广可信度 t ，则问题简化为研究系统识别率与样本容量之间的关系问题。那么，识别效率与样本容量之间是否存在关系 F 呢？如果存在， F 又是怎样的函数呢？对这一问题可以作几

个层次的分析：

A 合理性分析

B 理论上分析

C 实验统计分析

A 合理性分析

在我们前面定义的具有学习功能的系统中，其实学习只是使系统在确定识别机制下更好地适应已有的样本，并不能从本质上改变系统可能的识别效率。因此这样的系统可以看作是固定识别机制的系统。在固定识别机制的系统中，使系统的识别率下降的主要原因在于出现了两个以上的类别在该识别机制下足够地相似，以致于现有系统无法区分它们。那么这种极为相似的样本出现的概率是否与样本容量有关系呢？我们可以通过一个假说考虑这一问题：假设我们可以将人类的掌纹一个接一个地表示成树轴上的点，这些点是等距的并且它们距离越近表示它们越相似，两个相邻的掌纹已经相似到无法区分的程度。用 N 表示所有的掌纹，用 n 表示来到系统中的掌纹，这 n 个样本是从 N 中随机抽取的。一个自然的想法是抽取样本的数量越多，出现极为接近的掌纹的机率越大。所以猜想中样本数量与系统识别率存在某种关系 F 是合理的。

B 理论上分析

首先作几个假设：

- 只考虑来自不同手掌的样本。
- 所有样本在数轴上排成等距的队列，数量为 N 。
- 只有在队列中相邻的样本无法被系统区分。
- 进入系统的样本数量为 n ，这些样本是从 N 中随机抽取的。

在此假设条件下，系统的识别率 = $1 - (2 \times \text{有两个样本不能区分的组合数目} + 3 \times \text{有三个样本不能区分的组合数目} + \dots + n \times \text{有 } n \text{ 个样本不能区分的组合数目}) / n / \text{从 } N \text{ 中抽取 } n \text{ 个数的所有组合的数目}$ 。

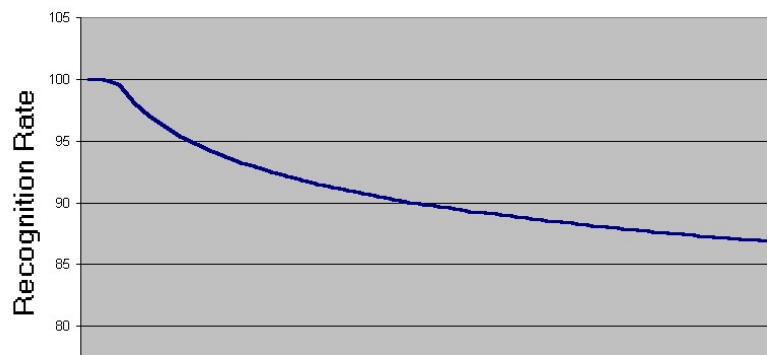
C 实验统计分析

实验统计分析的方法是指对识别率与样本数量的关系先不作太多假设，而是设计出一系列实验来发现它们之间的关系，下面给出了一种可能的实验方法。

试验的方法是固定学习次数 $M1$ 和每个人用于测试系统效率的样本数 $M2$ ，从某一初值开始以一定的间距不断增加系统使用人数，记录不同人数下的系统识别效率，以便分析识别效率随系统人数变化的情况。找出其分布函数，为推算系统推广可信度提供依据。

举一个例子，在我们的掌纹识别系统中，可以固定学习次数为 5，

Distribution of Recognition Rate on number People in the Database



每个人为测试提供 30 个样本，将 N 的初值定为 30，做第一组试验，用 30*5 个掌纹训练系统，然后用 30*30 个掌纹测试系统，得到第一个识别率。做第二组试验，用 40*5 个掌纹训练系统，然后用 40*30 个掌纹测试系统，得到第二个识别率。依此类推，一共做 20 次试验，得到 20 个识别率，绘出识别率与人数的关系图，以便发现规律。假定我们得到了如图 8-4 的关系图：

图 8-4 使用人数与系统识别率的关系图

从图 8-4 中可以观察到，系统的识别率与系统中的人数似乎成幂函数分布，即有关系： $y = ax^b$ 。为了求取参数 a, b 和验证这一假设，可以先将幂函数关系简化成线性关系：令

$$Y = \lg y; X = \lg x, \quad (8-1)$$

则上述关系转化成

$$Y = \lg a + bX, \quad (8-2)$$

将图中的数据按公式 (8-1) 转换，得到图 8-5：

After Transformation

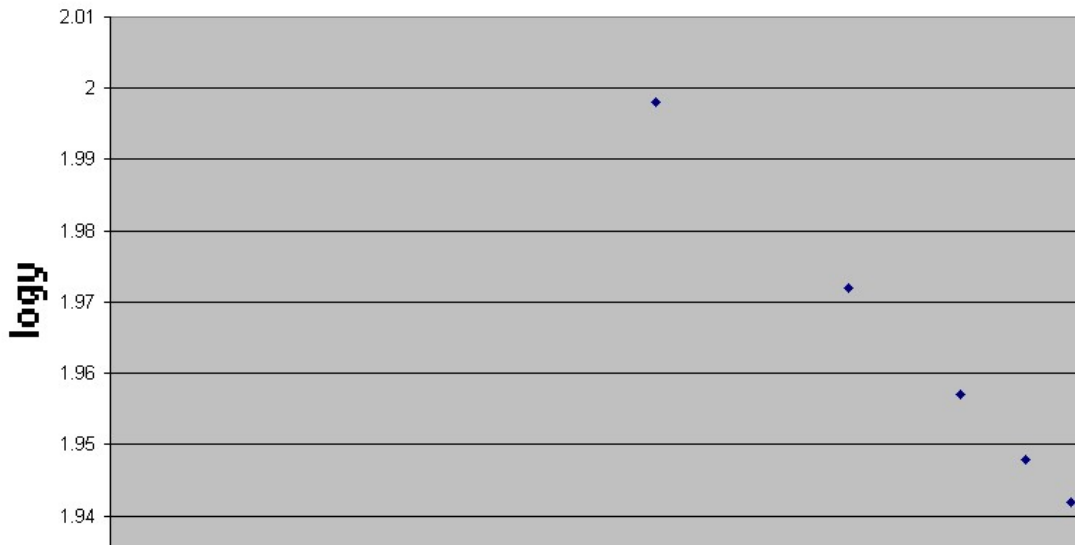


图 8-5 将幂函数关系转成一元线性关系后的关系图

于是可以用一元线性回归方程求系数的公式求出 $\lg a$ 和 b ，并且求出直线拟合程度，以此来判断幂指数分布假设的正确性。一元线性回归方程的系数求解公式如下：

$$\lg a = \frac{l_{xy}}{l_{xx}}, \quad b = \bar{y} - \lg a \bar{x} \quad (8-3)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (8-4)$$

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad l_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (8-5)$$

$$r_{xy} = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx} l_{yy}}}, \quad \text{其中 } l_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (8-6)$$

就上面的例子求出系统识别率与系统使用人数之间成 $y = 118x^{-0.5}$ 的关系，并且 $r_{xy} = 0.99$ ，即所得数据以百分之九十九的可信度拟合幂函数关系 $y = 118x^{-0.5}$ 。这样就可以计算当 $x = 1000$ ， $x = 10,000$ ， $x = 100,000$ 时系

统的识别率分别在百分之九十九的可信度下为 84%，75%和 67%。

当然这里给出的数据是想象的，具体的分布是不是这样还有待于实验的验证。

8.2.3 样本容量与推广可信度的关系分析

在上一节中我们给出了测试样本容量（人数）与系统识别效率之间关系的实验方法。当知道了识别效率随样本容量变化的规律后，我们就可以知道系统可以以多少的可信度推广到多大的人群中，从而为预测系统在实际应用中的识别率提供了客观依据。

当然，推广的前提是抽取的测试样本具有足够的代表性，换句话说，如此计算出来的推广可信度只适用于测试样本所代表的人群，如果系统要推广到更大的人群或其它的人群上，还需要加入能够代表应用人群的测试样本来测试。例如，系统若要从中国人推广到欧美人，就必须重新采样测试效率。再比如，英国人开发的虹膜识别系统在欧美人中具有很好的识别率，但推广到中国人就不一定，因为中国人的虹膜上的特征没有欧美人那样显著。

8.3 关于多种人体特征综合的设想

因为基于单个人体特征（如指纹、声音、脸型等）的识别系统都有其局限性而不能在任意场合、任意时间、对任意人群达到令人满意的识别效果，所以很自然地人们就想到要把多个人体特征综合考虑来提高识别率和增强适应性。比方说把指纹和人脸结合起来提高系统的

识别率。本章就综合多种人体特征的目的、综合时需考虑的要素、综合方法作了有意义的探讨，并提出了不同特征的黑箱和白箱综合法。另外，本章还就能否将客观特征和主观表情综合起来提高识别率提出了几点建议。

8.3.1 进行多种人体特征综合的目的和要素

进行多种人体特征的综合是为了满足现实应用的需要。一方面基于人体特征的生物识别技术的主要应用领域集中在银行、海关等需要高保密性的领域，而现有的基于单个人体特征的识别系统识别率都没有达到要求，急需提高识别率。另一方面，由于某种原因，有些人会缺失某些特征，所以依赖单一特征会限制系统的适用范围。还有一种情况就是在数据库很大时，系统的识别率会下降，例如在几万个指纹的数据库下，查找一枚指纹的时间约 10 分钟，如果使用其它特征做索引则可以加快搜索速度。概括起来，进行多种人体特征综合的目的为了提高识别准确性和效率以及扩大系统适用范围。

不论为着上述的哪个目的，在进行特征综合时都要考虑如下的因素：

1. 输入设备的成本。同时获取两个以上的人体特征势必增加输入设备的成本，但应考虑尽量降低成本的增加。例如，将人脸和指纹综合就需要同时用到取指仪和数字摄像机。
2. 使用者的接受程度。特征综合应本着尽量不增加使用者为配合输入所做的动作的原则。例如，将掌纹和虹膜综合就需要使用

户先伸出手，再将眼睛对准摄像机；而将人脸和虹膜结合就可以一次通过两个摄像机获取所需图像。

8.3.2 综合的方法—黑箱综合和白箱综合

特征综合的方法概括起来有两种：黑箱综合和白箱综合。黑箱综合的意思是说在综合的过程中不需要知道被综合的两种判定系统内部的判断机制，仅根据它们的输出做简单综合。白箱综合的意思是说在综合的过程中将两种（或两种以上）的判别系统内部所依据的细节特征提升并列进行全盘考虑，重新找出一个判别方法。

8.3.2.1 黑箱综合

具体来说，黑箱综合又可以分为并行和串行两种方式。用如下的图 8-6 所示：

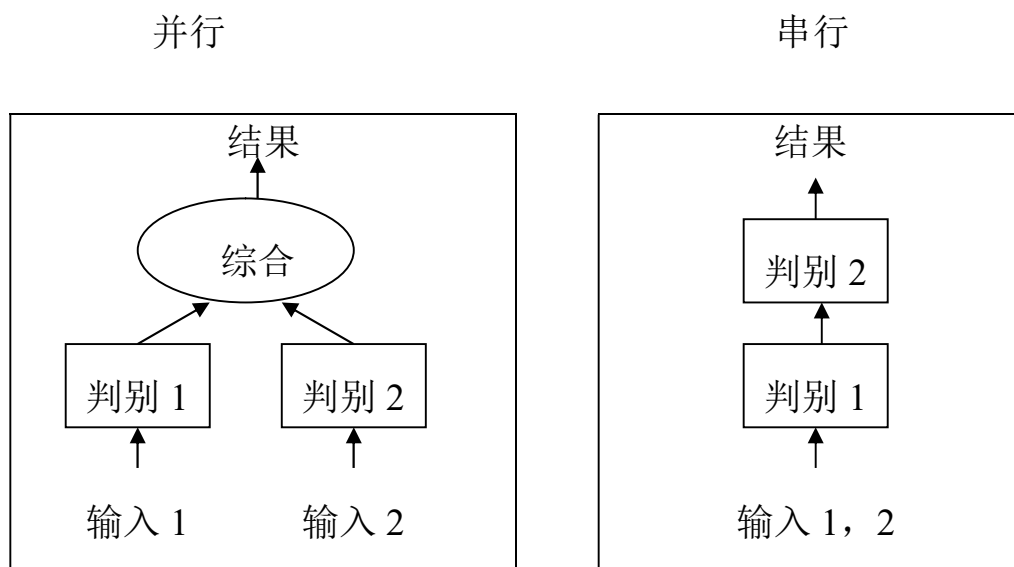


图 8-6 判别系统的黑箱综合法

并行的综合方法是用两个被综合的判别方法分别做出判断，再用一个综合方法将两个判别方法给出的结果综合起来，给出最终的判别结果。串行的方法是使用不同的判别方法进行层层筛选，直至给出最终的结果。

8.3.2.2 白箱综合

白箱综合打破个别判别方法的边界，将所有判别方法依赖的特征提升出来作重新的综合。图 8-7 显示了白箱综合的基本思想。

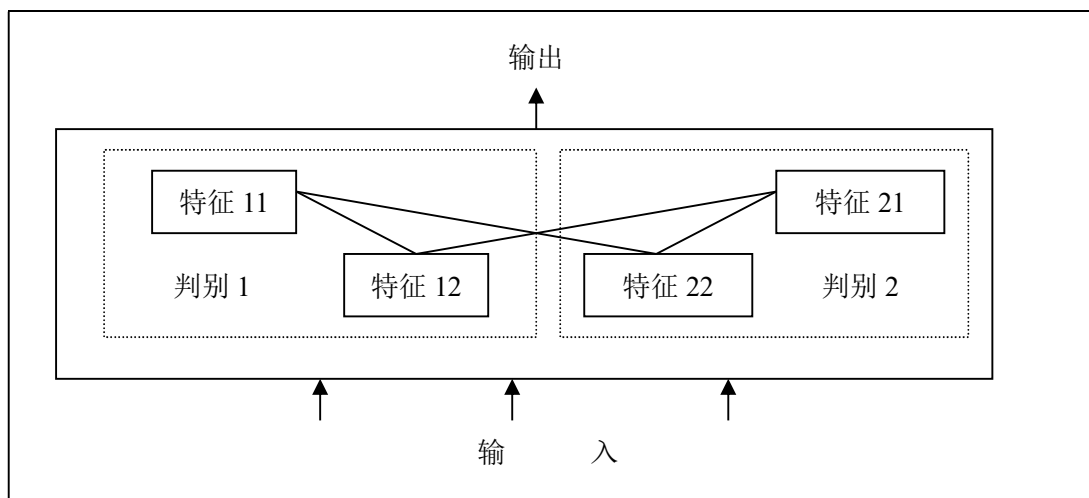


图 8-7 判别系统的白箱综合法

8.3.3 客观人体特征和意愿表达特征的综合

考虑到人体的特征不仅能代表个体，还能表达个体的意愿。例如，语音既可以代表一个人，更可以表达说话人的意图；签名可以用来识

别人也可以用来识别所写的内容；人脸除了有五官，还有表情；手掌可以作各种动作等等。能否将这些人体的客观测度和通过客观特征表达出的主观意愿结合起来综合识别，这样做的好处是在客观测度的基础上加进了类似密码的因素，从而使系统的可靠性提高。

8.4 小结

本章讨论了三个在理论上具有挑战性的问题 – 如何使系统具有学习能力、如何估计系统在更大的使用人群上的识别效率、如何综合多种人体特征以提高系统识别率和适用范围。针对第一个问题，给出了一个竞争学习网络系统的设计与实现考虑。针对第二个问题，给出了一个估算模型和实验方法。针对第三个问题，提出了黑箱综合和白箱综合的方法。本章的讨论集中体现了论文工作中对相关的理论问题的思考与设想，是论文有创造性贡献的一个重要部分。

第 9 章

结 论

生物识别技术是利用人体独特的物理或行为特征进行身份鉴别的技术。因为在各种各样的安全系统中具有广泛的用途，该技术正在获得越来越多的关注和来自工业界和科技界的投资。掌纹识别技术作为一项新的生物识别技术将为该领域提供一种新的可能。与其它生物识别技术一样，掌纹具有很多潜在的应用领域。下面具体列出一些应用。

但掌纹识别的应用并不局限在这些领域。

刑事侦查

刑事侦查是生物识别技术最大的用户。指纹识别已经在这一领域有了多年的应用历史。与生物识别技术有关的公司每年都从世界各地的刑事侦查部门获取大量的收入。

银行

银行已经关注生物识别技术很多年了。自动提款机和零售机最有可能成为这一技术的用户。电话银行和网上银行也急需高保密的技术。越来越多的搞生物识别技术的人在努力吸引银行注意力。

计算机登录系统

生物识别技术的发展为高保密的计算机网络系统提供了可能。这一市场正在随着工业界进驻万维网而扩大。随着网络应用的不断普及，越来越多的网上数据需要被保护，所以对基于生物识别技术的保密系统的需求正在迅速增加。

门禁系统

进出各种各样的大门而不用带成串的钥匙，只需用手轻轻一按或用眼看一下，就能打开大门，多么有吸引力的应用，市场定会不错。

福利系统

福利系统要杜绝冒领，也可以用生物识别技术。事实上目前比较大的应用都用在美国的福利发放系统中。

电话系统

全球通用电话服务近年来有了很大的发展。但是电话业正越来越

多地受到被非法使用服务的威胁。基于声音的识别很适合在这一领域找到应用空间。

本文研究的大部分工作是依托香港大学资助委员会资助的在线掌纹识别系统的研究项目进行的。该项目研究经费为 60 万港币，时间为 2 年。项目研究的主要目标是建立一个有一定规模的掌纹库，探索掌纹识别的有效方法，研究掌纹识别技术在实际应用系统中的可用性，分析掌纹识别技术在提高现有系统安全性方面的实用价值和前景。目前该项目已经结束，并在对香港大学资助委员会和香港政府的两次汇报展示会上取得好评。且吸引了一些相关的企业谋求进一步的合作。项目完成的主要工作包括：1) 建立了一个具有 6000 多个来自 600 多人的掌纹图像库；2) 设计制作了一台实时掌纹采集设备；3) 通过特征发现、特征选择确定了一个掌纹特征模型；4) 开发了一个掌纹库管理系统、一个掌纹实时验证系统和一个结合灵通卡实现用掌纹识别替代密码作身份验证的模拟银行提款机系统。5) 进行了一些理论分析和设计，并发表及投稿了近 10 篇有关论文。作者在本项目中主要完成了理论分析、系统设计、核心代码开发、论文撰写及指导 4 个高年级本科生进行代码编程、系统测试和掌纹搜集等工作。

由于自动化掌纹研究起步较晚，在线掌纹识别研究还是一片空白。所以本论文进行的研究工作基本上都是开创性的。主要的创造性工作包括：1) 明确了掌纹研究的基本任务和关键问题；2) 自行开发了掌纹输入的专用设备；3) 建立了一个掌纹数据库；4) 提出了低分辨率下掌纹的特征模型；5) 实现了一个在线掌纹验证系统，从而验证了

用掌纹做身份验证的可行性。同时本文还就整个生物识别研究领域共同存在的问题进行了探讨，提出了相应的解决方案。其中，探讨问题之一是如何进行多种人体特征的综合以提高系统的识别率和适应性。探讨问题之二是如何估测一定样本容量下测试的系统在推广到更大的人群时的识别效率，就这一问题本文给出了一个基于数理统计分析方法的假想的估算模型。探讨问题之三是如何使系统具有一定的主动学习和自适应能力，就此我们提出了一个竞争网络模型。

总之，掌纹识别的研究作为一个相对比较独立的研究领域可以向纵深发展，同时在掌纹识别方面取得的进展也可以促进其它相关学科的发展。从应用的角度看，生物识别技术的发展将会带领整个系统安全领域走向一个新纪元。

参 考 文 献

- [1] 洪丕谟，张文编著，手相测病大全，南京大学出版社，1993年。
- [2] 杨岳居士编，手相学不求人，内蒙古人民出版社，1994年。
- [3] 皮纹与诊病。
- [4] 束为，掌纹自动鉴别研究，清华大学工学博士论文，1999年。
- [5] 王晨霞，现代掌纹诊病，甘肃民族出版社，1995年。
- [6] 胡守仁，余少波，戴葵 编著，神经网络导论，国防科技大学出版社，1993年。
- [7] 庄镇泉，王煦法，王东生 编著，神经网络与神经计算机，科学

出版社，1994年。

[8] 盛聚，谢式千，潘承毅 编，概率论与数理统计，高等教育出版社，1997年。

[9] 范子亮 编著，应用随机过程，西南交通大学出版社，1995年。

[10] 《数学手册》编写组，数学手册，高等教育出版社，1979年。

[11] 张尧庭，方开泰 著，多元统计分析引论，科学出版社，1982年。

[12] 傅权，胡蓓华 编，基本统计方法教程，华东师范大学出版社，1989年。

[13] 陈希儒，倪国熙 编著，数理统计学教程，上海科学技术出版社，1988年。

[14] 数理统计的原理与方法，同济大学出版社，1993年。

[15] 陈爱民，于康友，管海明 编著，计算机的安全与保密，电子工业出版社，1992年。

[16] 王化文，张德向，吴亮，张能胜，李立 编著，计算机安全保密原理与技术，科学出版社，1993年。

[17] [美] S.巴斯 著，朱洪，游之墨，胡美琛 译，计算机算法：设计和分析引论，复旦大学出版社，1985年。

[18] 徐建华 编著，图像处理与分析，科学出版社，1992。

[19] 陈廷标，夏良正 编著，何振亚 审，数字图像处理，人民邮电出版社，1990年。

[20] [日]土井康弘，安藤·繁 著，王宝兴，杨学礼 译，图象处理

概论，原子能出版社，1986年。

[21] [美]A. 罗森菲尔德 主编，陈彩廷 等译，数字图象分析，科学出版社，1987年。

[22] 程民德，沈樊昌等 编著，图象识别导论，上海科学技术出版社，1983年。

[23] 李月景 编著，图象识别技术及其应用，机械工业出版社。

[24] K. S. Fu, *Applications of Pattern Recognition*, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1982.

[25] Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, Inc., 1986.

[26] Tzay Y. Young, King Sun Fu, *Handbook of pattern Recognition and Image Processing*, ACADEMIC PRESS, INC., 1986.

[27] J. A. Noble, "Finding corners", *Image and Computing*, Vol. 6, No. 2, pp. 121-128, 1988.

[28] H. P. Moravec, "Towards automatic visual obstacle avoidance", *Proc. 5th Int. Joint Conf. Artificial Intelligence*, Cambridge, MA., pp. 584, 1977.

[29] J. B. Burns, A. R. Hanson and E. M. Riseman, "Extracting straight lines", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, pp. 425-455, 1986.

[30] P. S. Wu and M. Li, "Pyramid edge detection based on stack filter", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 18, No. 4, pp. 239-248,

1997.

[31] A. Rosenfeld and A.C. Kak, *Digital Picture Processing*, London: Academic Press, 1982.

[32] R.M. Haralick, "Statistical and structural approaches to texture", *Proc. IEEE* Vol.67, pp. 786-804, 1979.

[33] S. Peleg, J. Naor, R. Hartley and D. Avnir, "Multiple resolution texture analysis and classification", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.6, pp.518-527. 1984.

[34] H. Wechsler and T. Citron, "Feature extraction for texture classification", *Pattern Recognition* Vol.12, pp.301-311, 1980.

[35] K.I. Laws, "Textured Image Segmentation", Ph.D Thesis, University of Southern California, 1980.

[36] K.K. Benke, D.R. Skinner and C.J. Woodruff, "Convolution operators as a basis for objective correlates for texture perception", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.* Vol.18, pp.158-163, 1988.

[37] J. You and H.A. Cohen, "Classification and segmentation of rotated and scaled textured images using texture 'tuned' masks", *Pattern Recognition*, Vol.26, pp.245-258, 1993.

[38] T.M. Caelli and D. Reye, "On the classification of image regions by color, texture and shape", *Pattern Recognition*,

Vol. 26, pp. 461–470, 1993.

[39] G. Borgefors, “Hierarchical Chamfer matching: a parametric edge matching algorithm”, *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.* Vol. 10, pp. 849–865, 1988.

[40] D.P. Huttenlocher, G.A. Klanderman and W.J. Rucklidge, “Comparing images using the Hausdorff distance”, *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, Vol. 15, pp. 850–863, 1993.

[41] J. You, E. Pissaloux, J.L. Hellec and P. Bonnin, “A guided image matching approach using Hausdorff distance with interesting points detection”, *Proc. of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP’94)*, Austin, Texas, USA, pp. 968–972, 1994.

[42] Joseph P. Campbell, Jr., Lisa A. Alyea, and Jeffrey S. Dunn, Government Applications and Operations, available online: <http://www.biometrics.org/REPORTS/CTSTG96/>

[43] Association for Biometrics (AfB) and International Computer Security Association (ICSA), Glossary of Biometric Terms, 1998. <http://www.afb.org.uk/glossuk1.html>

[44] D. Sims, “Biometric Recognition: Our hands, eyes and faces give us away,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, 0272–17–16/94, 1994.

[45] Gary Roethenbaugh, “Biometrics Explained,”

<http://www.icsa.net/services/consortia/cbdc/sec4.shtml>

- [46] George Lawton, "Biometrics: A New Era in Security," *Industry Trends, Computer IEEE*, Aug. 1998.
- [47] Richard Mandelbaum, "Vital signs of identity," *IEEE Spectrum*, pp.22, Feb. 1994.
- [48] W. Shen, M. Surette, and R. Khanna, "Evaluation of Automated Biometrics-Based Identification and Verification Systems," *Proc. IEEE Special issue on automated biometrics*, Vol. 85, No. 9, Sept. 1997.
- [49] J. D. Woodward, "Biometrics: Privacy's Foe or Privacy's Friend? ," *Proc. IEEE Special issue on automated biometrics*, vol. 85, No. 9, Sept. 1997.
- [50] A.K. Jain, H. Lin, P. Harath, and R. Bolle, "An Identity-Authentication System Using Fingerprints," *Proc. IEEE Special issue on automated biometrics*, vol. 85, no. 9, Sept. 1997.
- [51] A. R. Roddy, J. D. Stosz, "Fingerprint Features – Statistical Analysis and System Performance Estimates," *Proc. IEEE Special issue on automated biometrics*, vol. 85, no. 9, Sept. 1997.
- [52] Q. Xiao, Z. Bian, "An Approach to Fingerprint Identification by Using the Attributes of Feature Lines of Fingerprint," *IEEE*, CH2342-4/86/0000/0063\$01.00, 1986.

- [53] K. Morita, K. Asai, "Automatic Fingerprint Identification Terminal for Personal Verification," *Hybrid Image Processing*, vol. 638, 1986.
- [54] X. Shen, M. Cheng, Q. Shi, and G. Qiu, "A New Automated Fingerprint Identification System," *Journals of Computer Science & Technology*, vol. 4, no. 4, 1989.
- [55] L. O'Gorman, J. V. Nickerson, "An Approach to Fingerprint Filter Design," *Pattern Recognition*, vol. 22, no. 1, pp. 29–38, 1989.
- [56] Q. Xiao, H. Raafat, "Fingerprint Image Postprocessing: A Combined Statistical and Structural Approach," *Pattern Recognition*, vol. 24, no. 10, pp. 985–992, 1991.
- [57] Q. Xiao, H. Raafat, "Combining Statistical and Structural Information for Fingerprint Image Processing, Classification and Identification" *Pattern Recognition: Architectures, Algorithms and Applications*, 1991.
- [58] A. Jain, H. Lin, and R. Bolle, "On-Line Fingerprint Verification" *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 19, no. 4, April 1997.
- [59] V.S. Sprinivasan, N.N. Murthy, "Detection of Singular Points in Fingerprint Images" *Pattern Recognition*, vol. 25, no. 2, pp. 139–153, 1992.

- [60] N. K. Ratha, S. Chen, and A. K. Jain, "Adaptive Flow Orientation-based Feature Extraction in Fingerprint Images" *Pattern Recognition*, vol. 28, no. 11, pp. 1657-1672, 1995.
- [61] M. Kawagoe, A. Tojo, "Fingerprint Pattern Classification" *Pattern Recognition*, vol. 17, no. 3, pp. 295-303, 1994.
- [62] S. Igaki, S. Eguchi, F. Yamagishi, H. Ikeda, and T. Inagaki, "Real-time Fingerprint Sensor Using a Hologram" *Applied Optics*, vol. 31, no. 11, April 1992.
- [63] M. R. Verma, A. K. Majumdar, and B. Chatterjee, "Edge Detection in Fingerprints" *Pattern Recognition*, vol. 20, no. 5, pp. 513-523, 1987.
- [64] M. Kawagoe, A. Tojo, "Fingerprint Pattern Classification" *Pattern Recognition*, vol. 17, no. 3, pp. 295-303, 1984.
- [65] L. Coetzee, E. C. Botha, "Fingerprint Recognition in Low Quality Images" *Pattern Recognition*, vol. 26, no. 10, pp. 1441-1460, 1993.
- [66] B. M. Mehtre, "Fingerprint Image Analysis for Automatic Identification" *Machine Vision and Application*, 1993.
- [67] D. Maio, D. Maltoni, "A Structural Approach to Fingerprint Classification" *IEEE, Proceedings of ICPR'96*, 1996.
- [68] M. T. Leung, W. E. Engeler, and Frank, "Fingerprint Image Processing Using Neural Network" *IEEE Region 10 Conference on*

Computer and Communicatin Systems, Hong Kong, Sept. 1990.

[69] Y. Shan, P. Shi, J. Li, “Fingerprint Preclassification Using Key-Points” *International Symposium on Speech, Image Processing and Neural Networks, Hong Kong, 13-16 April 1994.*

[70] Shmurun, V. Bjorn, S. Tam, and M. Holler, “Extraction of Fingerprint Orientation Maps Using A Radial Basis Function Recognition Accelerator” *IEEE, 0-7803-1901-X/94 \$4.00, 1994.*

[71] W. Chang, H. S. Soliman, and A. H. Sung, “Fingerprint Image Compression by Natural Clustering Neural Network” *IEEE, 0-8186-6950-0/94 \$4.00, 1994.*

[72] M. Kamijo, “Classifying Fingerprint Images using Neural Network: Deriving the Classification State” *IEEE, 0-7803-0999-5/93/\$03.00, 1993.*

[73] J. W. Lee, I. S. Kweon, “Extraction of Line Features in A Noisy Image” *Pattern Recognition, vol.30, no.10, pp.1651-1660, 1997.*

[74] B.M.Mehtre, N.N. Urthy, S. Kapoor, and B. Chatterjee, “Segmentation of Fingerprint Images Using the Directional Image” *Pattern Recognition, vol.20, no.4, pp.429-435, 1987.*

[75] A.K. Hrechak, J.A. Mchugh, “Automated Fingerprint Recognition Using Structural Matching” *Pattern Recognition, vol.23, no.8, pp.893-904, 1990.*

- [76] L. Wu, Z. Xie, "On Fingerprint Theorems" *IEEE, CH2614-6/88/0000/1216\$01.00*, 1988.
- [77] D.K. Isenor, S.G. Zaky, "Fingerprint Identification Using Graph Matching" *Pattern Recognition*, vol.19, no.2, pp.113-122, 1986.
- [78] L. Coetzee, E.C. Botha, "Preprocessing of Two-dimensional Fingerprint Images for Fingerprint Recognition" *IEEE, TH0370-7/91/0000-0069\$01.00*, 1991.
- [79] N.K. Ratha, K. Karu, S. Chen, and A.K. Jain, "A Real Time Matching System for Large Fingerprint Databases" *IEEE Trans. on PAMI*, vol.18, no.8, Aug. 1996.
- [80] W. Shu and D. Zhang, Palmprint verification: An implementation of biometric technology, *Proc. 14th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'98)*, Brisbane, Australia, 219 - 221 (1998).
- [81] D. Zhang, W. Shu, "Two Novel Characteristics in Palmprint Verification: Datum Point Invariance and Line Feature matching" *Pattern Recognition*, 32(1999) 691-702, 1999.
- [82] J.F. Keegan, "How Can You Tell if Two Line Drawings Are the Same" *Computer Graphics Image Processing*, 6(1), pp. 90-92, 1997.
- [83] R.A. McLaughlin, M.D. Alder, C.J.S. DeSilva, "Inference

- of Structure: Hands” *Pattern Recognition Letters*, Oct. 1994.
- [84] P. Baltscheffsky, P. Anderson, “The Palmprint Project: Automatic Identity Verification by Hand Geometry” *International Carnahan Conference on Security Technology*, Gothenburg, Sweden, Aug. 12–14, 1986.
- [85] J. Zhang, Y. Yan, and M. Lades, “Face Recognition: Eigenface, Elastic Matching, and Neural Nets,” *Proc. IEEE Special issue on automated biometrics*, vol. 85, no. 9, Sept. 1997.
- [86] I.A. Essa, A.P. Pentland, “Coding, Analysis, Interpretation, and Recognition of Facial Expressions” *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 19, no. 7, July 1997.
- [87] K.C. Yow, R. Clipolla, “Feature-based human face detection” *Image and Vision Computing*, 15(1997) 713–735, 1997.
- [88] R. Chellappa, C.L. Wilson, and A. Sirohey, “Human and Machine Recognition of Faces: A Survey” *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 5, May 1995.
- [89] S.H. Jeng, H.Y. Liao, C.C. Han, M. Y. Chern, and Y. T. Liu, “Facial Feature Detection Using Geometrical Face Model: An Efficient Approach” *Pattern Recognition*, vol. 31, no. 3, pp. 273–282, 1998.
- [90] Q. Chen, H. Wu, and M. Yachida, “Face Detection by Fuzzy

- Pattern Matching” *IEEE*, 0-8186-704208/95 \$4.00, 1995.
- [91] A. Tankus, Y. Yeshurun, and N. Intrator, “Face Detection by Direct Convexity Estimation” *Pattern Recognition Letters*, 18(1997) 913-922, 1997.
- [92] N. Foeder, X. Li, “Accuracy Analysis for Facial Feature Detection” *Pattern Recognition*, vol.29, no.1, pp.143-157, 1996.
- [93] J. Huang, S. Gutta, and H. Wechsler, “Detection of Human Faces Using Decision Trees” *IEEE*, 0-8186-7713-9/96 \$5.00, 1996.
- [94] S.H. Lin, S.Y. Kung, and L.J. Lin, “Face Recognition/Detection by Probabilistic Decision-Based Neural Network”.
- [95] R. Herpers, M. Michaelis, K.H. Lichtenauer, and G. Sommer, “Edge and Keypoint Detection in Facial Regions” *IEEE*, 0-8186-7713-9/96 \$5.00, 1996.
- [96] T.F. Cootes and C.J. Taylor, “Locating Faces Using Statistical Feature Detectors” *IEEE*, 0-8186-7713-9/96 \$5.00, 1996.
- [97] K.C. Yow, R. Cipolla, “Detection of Human Faces under Scale, Orientation and Viewpoint Variations” *IEEE*, 0-8186-7713-9/96 \$5.00, 1996.

- [98] A. J. Colmenarez, T.S. Huang, "Maximum Likelihood Face Detection" *IEEE*, 0-8186-7713-9/96 \$5.00, 1996.
- [99] B. Takacs, H. Wechsler, "Visual Filters for Face Recognition" *IEEE*, 0-8186-7713-9/96 \$5.00, 1996.
- [100] M. S. Lew, "Information Theoretic View-Based and Modular Face Detection" *IEEE*, 0-8186-7713-9/96 \$5.00, 1996.
- [101] R. P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology," *Proc. IEEE Special issue on automated biometrics*, vol. 85, no. 9, Sept. 1997.
- [102] D. McMordie, "Texture Analysis of The Human Iris For High Security Authentication", 1997.
<http://www.ee.mcgill.ca/~mcmordie/iris/iris.ps>
- [103] C. Seal, D. McCartney, M. Gifford, "Iris Recognition for User Validation" *British Telecommunications Engineering*, vol.16, July 1997.
- [104] J.G. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons By a Test of Statistical Independence" *IEEE Trans. on PAMI*, 15, 1993.
- [105] W.W. Boles, "A Security System Based on Human Iris Identification Using Wavelet Transform" *First International Conference on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems*, Adelaide, 21-23 May 1997.
- [106] G.O. Williams, "Iris Recognition Technology" *IEEE*,

0-7803-3537-6-9/96/\$4.00 @, 1996.

[107] Joseph P. Campbell, JR., “Speaker Recognition: A Tutorial,” *Proc. IEEE Special issue on automated biometrics*, vol. 85, no. 9, Sept. 1997.

[108] R.C. Rose, E.M. Hofstetter, and D.A. Reynolds, “Integrated Models of Signal and Background with Application to Speaker Identification in Noise” *IEEE Trans. on Speech and Audio Processing*, vol. 2, no. 2, April 1994.

[109] Q. Lin, E. Jan, C. Che, and J. Flanagan, “Speaker Identification in Teleconferencing Environments Using Microphone Arrays and Neural Networks” *Esca Workshop on Automatic Speaker Recognition, Identification and Verification*.

[110] N.Z. Tishby, “On the Application of Mixture AR Hidden Markov Models to Text Independent Speaker Recognition” *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 39, no. 3, March 1991.

[111] R.P. Ramachandran, M.S. Zilovic, and R.J. Mammone, “A Comparative Study of Robust Linear Predictive Analysis Methods with Applications to Speaker Identification” *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 3, no. 2, March 1995.

[112] D.A. Reynolds, R.C. Rose, “Robust Text-Independent Speaker Identification Using Gaussian Mixture Speaker Models”

IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, vol. 3, no. 1, Jan. 1995.

[113] S. Dutta, "Algorithmic Approach to Automatic Speech Recognition Technique" *IEEE, CH2998-3/91/0000-1233\$01.0*, 1991.

[114] K. Huang, H. Yan, "Off-line Signature Verification Based on Geometric Feature Extraction and Neural Network Classification" *Pattern Recognition*, vol. 30, no. 1, pp. 9-17, 1997.

[115] R. Sabourin, G. Genest, and F. J. Preteux, "Off-Line Signature Verification by Local Granulometric Size Distributions" *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 19, no. 9, Sept. 1997.

[116] R. Bajaj, S. Chaudhury, "Signature Verification Using Multiple Neural Classifiers" *Pattern Recognition*, vol. 30, no. 1, pp. 1-7, 1997.

[117] R. Sabourin, R. Plamondon, L. Beaumier, "Structural Interpretation of Handwritten Signature Images" *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 8, no. 3, 1994.

[118] G. Dimauro, S. impedovo, G. Pirlo, "Component-Oriented Algorithms for Signature Verification" *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 8,

no. 3, pp. 771–793, 1994.

[119] Q. Z. Wu, S. Y. Lee, and I. C. Jou, “On-line signature verification based on split-and-merge matching mechanism” *Pattern Recognition Letters*, 18(1997), pp. 665–673, 1997.

[120] K. Huang, “On-line Signature Verification Based on Dynamic Segmentation and Global and Local Matching” *Optical Engineering*, vol. 34, no. 12, Dec. 1995.

[121] R. Martens, L. Claesen, “On-Line Signature Verification by Dynamic Time-Warping” *IEEE, Proceedings of ICPR '96, 1015-4651/96 \$5. 00*, 1996.

[122] E. Mandler, “Advanced Preprocessing Technique for On-Line Recognition of Handprinted Symbols” *Computer Recognition and Human Production of Handwriting*, pp. 19–36, 1989.

[123] M. Parizeau, R. Plamondon, “What Types of Scripts Can Be Used for Personal Identity Vrification?” *Computer Recognition and Human Production of Handwriting*, pp. 77–90, 1989.

[124] M. Ammar, Y. Yoshida, and T. Fukumura, “Feature Extraction and Selection for Simulated Signature Verification” *Computer Recognition and Human Production of Handwriting*, pp. 61–76, 1989.

[125] N. A. Murshed, R. Sabourin, F. Bortolozzi, “A Cognition

Approach to Off-line Signature Verification” *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol.11, no.5, pp.801-825, 1997.

[126] G. Dimauro, S. Impedovo, G. Pirlo, and A. Salzo, “A Multi-Expert Signature Verification System for Bankcheck Processing” *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol.11, no.5, pp.827-844, 1997.

[127] E.C. Titchmarsh, *Introduction to the Theory of Fourier Integral*, Oxford University Press, New York, 1948.

[128] A. Papoulis, *The Fourier Ingegral and Its Applications*, McGraw-Hill, New York, 1962.

[129] M.E. Van Valkenburg, *Network Anlysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1955.

[130] A.B. Calson, *Communication Systems*, McGraw-Hill, New York, 1968.

[131] J.B. Thomas, *Statistical Communication Theory*, John Willey & Sons, New York, 1969.

[132] R.B. Blackman and J.W. Tukey, *The measurement of Power Spectra*, Dover Publications, New York, 1958.

[133] J.W. Cooley, P.A.W. Lewis and P.D. Welch, “Historical Notes on the Fast Fourier Transform”, *IEEE Trans. Audio and*

- Electroacoustics*, vol. AU-15, no. 2, pp. 76-79, 1967.
- [134] J.W. Cooley, P.A.W. Lewis and P.D. Welch, "Application of the Fast Fourier Transform to Computation of Fourier Integrals", *IEEE Trans. Audio and Electroacoustics*, vol. AU-15, no. 2, pp. 79-84, 1967.
- [135] J.W. Cooley, P.A.W. Lewis and P.D. Welch, "The Fast Fourier Transform and Its Applications", *IEEE Trans. Audio and Electroacoustics*, vol. E-12, no. 1, pp. 27-34, 1969.
- [136] E.O. Brigham, *The Fast Fourier Transform*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1974.
- [137] P. Rudnick, "Note on the Calculation of Fourier Series", *Math. Comput.*, vol. 20, pp. 429-430, 1966.
- [138] G.C. Nanielson and C. Lanczos, "Some Improvements in Practical Fourier Analysis and Their Application to X-Ray Scattering from Liquids", J. Franklin Institute, vol. 233, pp. 365-380, 435-452, 1942.
- [139] C. Runge, *Zeit. Fur Math. And Physik*, vol. 48, p.433, 1903.
- [140] F. Yates, "The Design and Analysis of Factorial Experiments", Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnam Royal, Burks, England, 1937.
- [141] K. Stumpff, *Tafeln und Aufgaben zur Harmonischen Analyse*

und Periodogrammrechnung, Julius Springer, Berlin, 1939.

[142] I. J. Good, "The Interaction Algorithm and Practical Fourier Analysis", *J.R. Stat. Soc. (Lond.)*, vol. B20, pp. 361–367, 1958; Addendum, vol. 22, pp. 372–375, 1960.

[143] H. C. Andrews, *Computer Techniques in Image Processing*, Academic Press, New York, 1970.

[144] J. L. Walsh, "A closed Set of Normal Orthogonal Functions", *Am. J. Math.*, vol. 45, no. 1, pp. 5–24, 1923.

[145] N. J. Fine, "On the Walsh Functions", *Trans. Am. Math. Soc.*, vol. 65, pp. 373–414, 1949.

[146] N. J. Fine, "The Generalized Walsh Functions", *Trans. Am. Math. Soc.*, vol. 69, pp. 66–77, 1950.

[147] J. L. Hammond and R. S. Johnson, "Orthogonal Square-Wave Functions", *J. Franklin Inst.*, vol. 273, pp. 211–225, 1962.

[148] K. W. Henderson, "Some Notes on the Walsh Functions", *IEEE Trans. Electronic Computers*, vol. EC-13, no. 1, pp. 50–52, 1964.

[149] J. L. Shanks, "Computation of the Fast Walsh-Fourier Transform", *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-18, no. 5, pp. 457–459, 1969.

[150] J. Hadamard, "Resolution d'une Question Relative aux Determinants", *Bull. Sci. Math., Ser. 2*, vol. 17, Part I, pp. 240–246, 1893.

- [151] J. Williamson, "Hadamard's Determinant Theorem and the Sum of Four Squares", *Duke Math. J.*, vol. 11, pp. 65-81, 1944.
- [152] J.E. Welchel, Jr. And D.F. Guinn, "The Fast Fourier-Hadamard Transform and Its Use in Signal Representation and Classification", *Eascon 1968 Convention Record*, pp. 561-573.
- [153] L.D. Baumert, S.W. Golomb and M. Jr. Hall, "Discovery of a Hadamard Matrix of Order 92", *Bull. Am. Math. Soc.*, vol.68, pp. 237-238, 1962.
- [154] S.W. Golomb and L.D. Baumert, "The Search for Hadamard Matrices", *Am. Math. Monthly*, vol. 70, pp.27-31, 1963.
- [155] H. Hotelling, "Analysis of a Complex Statistical Variables into Principal Components", *J. Educ. Psychol.*, vol. 24, pp. 417-441, 498-520, 1933.
- [156] Y. Huang and P.M. Schultheiss, "Block Quantization of Correlated Gaussian Random Variables", *IEEE Trans. Commun. Syst.*, vol. CS-11, pp. 289-296, 1963.
- [157] D.N. Laewley and A.E. Maxwell, *Factor Analysis as a Statistical Method*, Butterworth, London, 1963.
- [158] K. Karhunen, "Uber Lineare Methoden in der Wahrscheinlichkeitsrechnung", *Ann. Acad. Sci. Fennicae*, Ser. A137, 1947. (Translated by I. Selin in "On Linear Methods in

Probability Theory”, T-131, 1960, The RAND Corp., Santa Monica, Calif.)

[159] M. Loeve, “Functions Aleatoires de Second Orde”, in P. Levy, *Processus Stochastiques et Mouvement Brownien*, Hermann, Paris, 1948.

[160] I. Selin, *Detection Theory*, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1965.

[161] A. Koschman, “On the Filtering of Nonstationary Time Series”, *Proc. 1954 Natl. Electron. Conf.*, p.126, 1954.

[162] J.L. Brown, Jr., “Mean-Square Truncation Error in Series Expansions of Random Functions”, *J. SIAM*, vol. 8, pp. 18-22, 1960.

[163] L.G. Roberts, “Machine Perception of Three-Dimensional Solids”, *J. T. Tippett et al eds., Optical and Electrooptical Information Processing*, pp. 159-197, MIT Press, 1965.

[164] D. Marr and E. Hildreth, “Theory of Edge Detection”, *Proc. R. Soc. Lond. B207*, pp. 187-217, 1980.

[165] M.H. Hueckel, “An Operator Which Locates Edges in Digitized Pictures”, *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol. 18, No. 1 pp. 113-125, 1971.

[166] M.H. Hueckel, “A Local Visual Operator Which Recognizes Edges and Lines”, *Journal of the Association for Computing*

- Machinery*, Vol. 20, No. 4, pp. 634–647, 1973.
- [167] J. M. S. Prewitt, “Object Enhancement and Extraction”, (B. S. Lipkin and A. Rosenfeld, eds.), *Picture Processing and Psychopictorics*, Academic Press, New York, 1970.
- [168] R. M. Haralick, “Digital Step Edges from Zero Crossing of Second Directional Derivatives”, *IEEE Trans. PAMI*, Vol. 6, No. 1, pp. 58–68, 1984.
- [169] B. J. Schachter et al., “An Application of Relaxation Methods to Edge Reinforcement”, *IEEE Trans. SMC*, Vol. 7, No. 11, pp. 813–816, 1977.
- [170] S. Tanimoto and T. Pavidis, “A Hierarchical Data Structure for Picture Processing”, *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 4, pp. 104–119, 1975.
- [171] P. V. C. Hough, “Method and Means for Recognizing Complex Pattern”, U.S. Patent 3069654, 1962.
- [172] D. H. Ballard, “Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes”, *Pattern Recognition*, vol. 13, pp. 111–122, 1981.
- [173] Rafael G. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital ImageProcessing*, ADDISON–WESLEY PUBLISHING COMPANY, 1993.
- [174] 边肇祺, 张学工等编著, 模式识别, 清华大学出版社, 1999。
- [175] Vladimir N. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning*,

Springer, 1995.

[176] Vladimir N. Vapnik, *Estimation of Dependences Based on Empirical Data*, Springer-Verlag, New York Heidelberg Berlin, 1982.

[177] Vladimir N. Vapnik, *Statistical Learning Theory*, JOHN WILEY & SONS, INC, 1998.

附 录

A. 从事与生物识别技术有关的研究的大学实验室

1. Michigan State University Biometrics Research Homepage

<http://biometrics.cse.msu.edu/>

2. Purdue's Automatic Identification and Data Capture (AIDC)

Homepage

<http://www.tech.purdue.edu/it/resources/aidc/>

3. San Jose State University's Biometric Identification
Research Effort

<http://www-engr.sjsu.edu/~graduate/biometrics/>

4. West Virginia University/FBI Forensic Identification
Degree Program

<http://info.news.wvu.edu/news/forensic.html>

B. 与生物识别技术有关的杂志、会议和讨论组

1. ACM Special Interest Group on Security, Audit and Control
<http://www.acm.org/sigs/sigsac/>
2. Automatic I.D. News
<http://www.autoidnews.com/>
3. Biometric Digest
<http://www.biodigest.com/>
4. Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences
<http://journals.wiley.com/wilcat2-bin/ops/ID1/0323-3847/prod>
5. BIOMETRICS: A Journal of the International Biometric Society
<http://stat.tamu.edu/Biometrics/>
6. Biometrika (Britain)
<http://www.oup.co.uk/biomet/>
7. Biometric Technology Today, The Biometrics Report, etc.
<http://www.sjb.co.uk/>
8. EE Times
<http://www.eetimes.com/>

9. Electronic Commerce (EC) Today
<http://www.ectoday.com/>
10. Infosecurity News
<http://www.westcoast.com/>
11. Info World
<http://www.infoworld.com/>
12. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental
Statistics
<http://www.amstat.org/publications/jabes/>
13. IEEE Transactions on ...
14. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing
http://www.ieee.org/pub_preview/sa_toc.html
15. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine
Intelligence
<http://ada.computer.org:80/tpami/>
16. National Institute of Justice's Headlines and Technology
News Update
<http://www.nlectc.org/headline.html>
17. PC Week
<http://www.nlectc.org/techhed.html>
18. PIN's Advanced Card & Identification Technology
Sourcebook, Ben Miller's annual publication

<http://www.pcweek.com/>

19. Secure Computing

http://www.ctst.com/f_sourcebook.html

20. Security Management (ASIS)

<http://www.infosecnews.com/>

21. Security Solutions Online

<http://www.securitymanagement.com/>

22. Speech Communication

<http://www.elsevier.nl/eee/specom/>

C. 与生物识别技术有关的国际组织

1. American Association of Motor Vehicle Administrators
(AAMVA)

<http://www.aamva.org/>

2. American Statistical Association

<http://www.amstat.org/>

3. Association for Biometrics (AfB), UK

<http://www.afb.org.uk/>

4. Australian Biotechnology Association

<http://www.aba.asn.au/>

5. Automatic Identification Technology Commerce and Education
– About Biometric ID

<http://www.aitworld.com/>

6. BioAPI Consortium -- Industry group working to define an API
for biometrics

<http://www.aitworld.com/techvalley/biometrics.html>

7. Biometrics In Human Services User Group

<http://www.bioapi.org>

8. Biometric Testing Services (BIOTEST) – a European project
aimed at developing standard metrics for

measuring/comparing performance of biometric devices, and
establishing testing services

<http://www.dss.state.ct.us/digital/faq/dihsug.htm>

9. Commercial Biometrics Developer's Consortium (CBDC)

<http://www.npl.co.uk/npl/sections/this/biotest/>

10. Committee on Computing, Information, and Communications
R&D... Technology Policy

<http://www.icsa.net/services/consortia/cbdc/>

11. Subcommittee

<http://www.hpcc.gov/ccic/>

12. Financial Services Technology Consortium (biometric fraud
prevention)

<http://www.fstc.org/>

13. International Association for Identification (IAI)

<http://www.iaibbs.org/>

14. International Biometric Industry Association (IBIA)

<http://www.ibia.org>

15. National Center for Identification Technology

<http://www.ncit.org/>

16. NATO Advanced Study Institute (ASI) on Face Recognition:
From Theory to Applications

<http://chagall.gmu.edu/faces97/natoasi/>

17. Security Industry Association (SIA)
<http://www.siaonline.org/>
18. The Biometric Consortium
<http://www.biometrics.org>
19. The Human Identification Project
<http://www.asti.dost.gov.ph/>
20. UK Police Information Technology Organisation (PITO)
<http://www.pito.org.uk>
21. 1997 Automated Fingerprint Identification System (AFIS)
Committee
<http://www.iaibbs.org/afis.htm>
22. 1998 Glossary of Biometric Terms (AfB & ICOSA)
<http://www.afb.org.uk/glossuk1.html>
23. American National Standards Institute
<http://www.ansi.org:80/>
24. International Standards Organization
<http://www.iso.ch/>

D. 与生物识别技术有关的公司

Biometric Consultants & System Integrators

1. International Biometric Group, Inc.

<http://www.biometricgroup.com>

2. DARPA's Internet for Security Professionals

<http://isp.hpc.org/>

3. EDI HotLinks (standards, etc.)

<http://www.wpc-edi.com/resource.html>

4. EAGLES' Assessment of Speaker Verification Systems

<http://coral.lili.uni-bielefeld.de/~gibbon/EAGLES/slwghandt/node54.html>

5. East Shore Technologies (check the EST Challenge)

<http://www.east-shore.com/>

6. Fingerprint Technologies

<http://www.fingerprint.com/>

7. FingerPrint USA

<http://www.fpusa.com/>

8. GSA's Federal Security Infrastructure Program (for secure

applications: tokens, keys, and authorization)

<http://www.gsa.gov/fsi/>

9. GSA's SmartGov

<http://policyworks.gov/smartgov/>

10. I/O Software, Inc. - a distributor, consultant, SI and custom developer for the Sony fingerprint identification unit. The first self-contained unit that compares and enrolls in a device the size of a mouse.

<http://www.iosoftware.com>

11. International Biometric Group (IBG)

<http://www.biometricgroup.com/>

12. Justice Technology Information Network (JUSTNET)

<http://www.nlectc.org/>

13. Julian Ashbourn's Technology Corner

<http://members.aol.com/teknotalk/home.htm>

14. National Information Assurance Partnership (NIAP)

<http://niap.nist.gov/>

15. NIST's Computer Security Resource Clearinghouse

<http://csrc.ncsl.nist.gov/>

16. Physical Security Equipment Action Group

<http://www.vitro.bloomington.in.us:8080/pseag/>

17. Q&A Consulting

<http://www.communinet.org/QA/>

18. The Biometric Consulting Group, LLC

<http://biometric-consulting.com>

19. 20G4 Multi-technology Automated Reader Card (MARC) Project

<http://www.vitro.bloomington.in.us:8080/marc/>

Biometric Vendors/Consultants (Fingerimaging)

20. AuthenTec - identification and security products:
biometrics. PO Box 37, MS 11MC/1743, Melbourne, FL 32902. (tel)
407.727.4872 (fax) 407.729.3499

<http://www.authentec.com>

21. Biometric Access Corporation

<http://www.biometricaccess.com/>

22. Biometric Identification, Inc.

<http://www.biometricID.com/>

23. Cambridge Neurodynamics

<http://www.camneuro.stjohns.co.uk/>

24. Cogent Systems

<http://www.cogentsystems.com/>

25. Compaq

<http://207.18.199.108/im/fit/>

26. Crosscheck Corp.

<http://www.xcheck.com/>

27. East Shore Technologies

<http://www.east-shore.com/>

28. Fingerprint Technologies

<http://www.fingerprint.com/>

29. Fingerprint USA

<http://www.fpusa.com/>

30. Harris Semiconductor, Melbourne, Fla.

<http://www.harris.com>

31. Ideamation, Inc. - a supplier of customized fingerprint identification systems and services to businesses world-wide.

Ideas International

<http://users.ids.net/%7emikedn/idea>

32. Identicator Corporation

<http://www.parlant.com/ideas/ideas.htm>

33. Identification Systems

<http://www.identicator.com/>

34. Identix

<http://www.gotnet.net/home/idyou>

35. ID TEC

<http://www.identix.com/>

36. ImEdge – Edgelit Holography Fingerprint Imaging
<http://www.idtek.com/>
37. I/O Software, Inc
<http://eastview.org/ImEdge/>
38. LEX Solutions, Inc.
<http://www.iosoftware.com>
39. Mitsubishi Electric Corp.
<http://www.lexsolutions.com/>
40. Mytec
<http://www.mbnet.or.jp/melsys/fingre03.html>
41. The National Registry, Inc. (NRI) – finger-imaging,
fingertip scanners, software.
<http://www.mytec.com/>
42. Net-ID, Inc.
<http://www.netid.com/>
43. Neurotechnologija, Ltd.
<http://www.neurotechnologija.com/>
44. Polaroid Corporation
<http://www.polaroid.com/>
45. Printrak International
<http://www.pintrakinternational.com/>
46. SAC Technologies Inc., Edina, Minn.

<http://www.sacman.com>

47. Saflink Corporation (NRI)

<http://www.saflink.com/>

48. Sagem Morpho, Inc.

<http://www.morpho.com>

49. Startek Engineering, Inc.

http://www.w3bit.com/www_star.html

50. The National Registry Inc., Tampa, Fla.

http://www.tcs.thomson-csf.com/Us/fingerchip/FC_home.htm

51. Thomson-CSF Inc.

<http://users.ids.net/~tms/>

52. Totally Managed Security, Inc. -- company (thrum-print based)

<http://www.marketplace.unisys.com/bioware>

53. UNISYS, Inc

<http://www.veridicom.com/>

54. Veridicom

<http://www.vitrix.com/>

55. Vitrix, Inc.

<http://www.whovision.com/>

56. Who?Vision

<http://www.cjis.com/>

Biometric Vendors/Consultants (Facial Imaging)

57. CJIS

http://www.wp.com/IVS_face/

58. Intelligent Vision Systems

<http://www.miros.com/>

59. Miros

<http://www.polaroid.com/>

60. Polaroid Corporation

<http://www.viisage.com/>

61. Viisage Technology

<http://www.faceit.com/>

62. Visionics

<http://www.graphcotech.com>

Biometric Vendors/Consultants (Voice)

63. Graphco Technologies Inc., West Trenton, N.J.

<http://www.imagination.com>

64. Imagine

<http://www.intelitrak.com/>

65. Intelitrak Technologies, Inc.

<mailto:jmarkowitz@pobox.com>

66. J. Markowitz, Consultants

<http://www.keywareusa.com/>

67. Keyware USA

<http://www.speakerkey.com/>

68. SpeakerKey, Inc.

<http://www.verivoice.com/>

69. VeriVoice, Inc.

<http://www.aeat.co.uk/pes/ancc/counter>

Biometric Vendors/Consultants (Handwriting)

70. AEA Technology – find out about the most extensively tested dynamic signature verification biometric, Countermatch, which has already been demonstrated as a Smart-card holder verification method.

<http://hwr.nici.kun.nl/>

71. Handwriting Recognition Group

<http://www.penop.com/>

72. PenOp

<http://www.quintetusa.com/>

73. Quintet Signature Verification

<http://www.iriscan.com/>

Biometric Vendors/Consultants (Iris scan)

74. IriScan

<http://www.sensar.com/>

75. Sensar

<http://www.recogsys.com/>

Biometric Vendors/Consultants (Hand Geometry)

76. Recognition Systems

<http://innotts.co.uk/~joerice/>

Biometric Vendors/Consultants (Veincheck)

77. Veincheck Biometric Homepage

<http://www.comsec-solutions.com>

Biometric/Cryptographic Countermeasures

78. COMSEC Solutions

<http://www.cadix.com>

Others

79. CADIX - biometrics solutions. 1200 Ashwood Parkway #135, Atlanta, GA 30338. (tel) 770.804.9951 (fax) 770.804.9949

80. Advanced Precision Technology - developer and designer of automated fingerprint capture, storage, and real-time verification system. 4669

81. Hillside Dr., Vastro Valley, CA 94546. (tel) 510.889.1650, (fax) 510.889.8195

82. BioMet Partners, Inc. - c/o MAFSA Perstalozzistrasse 12 Murten 3280 SWITZERLAND. (tel) +41-37-71-13-03 (fax) +41-37-71-13-02

83. Communication Intelligence Corp - signature capture and signature authentication. 275 Shoreline Dr. #520. Redwood Shores, CA 94065. (tel)415.802.7888 (fax) 415.802.7777

84. Comparator Systems Corp. - fingerprint authentication. 4350 Von Karman Suite 180, Newport Beach, CA 92660. (tel) 714.851.4300 (fax)714.851.1759

85. Cross Check Corp. - fingerprint scanner manufacturer. 1006

West 15th St., Riviera Beach, Fl 33404. (tel) 407.26.4405 (fax)
407.624.0914

86. Digital Biometrics, Inc. - fingerprint scanner,
verification system. 5600 Rowland Rd. Suite 205, Minnetonka,
MN 55343. (tel) 612.945.3338 (fax)612.932.7181

87. EyeDentify Inc. -retinal recognition system, RFID devices.
10473 Old Hammond Hwy, Baton Rouge, LA 70816. (tel)
800.593.5353 (fax)504.927.5385

88. Logica, Inc. - fingertip geometry identification device.
2121 Ponce De Leon Blvd, Suite 422, Coral Gables, FL 33134. (tel)
305.447.9579 (fax)305.529.4842

89. NEC Technologies, Inc. - fingerprint identification system.
1201 New York Ave. NW, Suite 1200, Washington, DC 20005.
(Tel)202.408.4762 (Fax)202.408.4791

90. PrintScan International Inc. - fingerprint identification
system. 1432 Drumhil Rd. Martinsville, NJ 08836. (Tel)
908.469.6476

91. Printrak International Inc. - 1250 N. Tustin Ave., Anaheim,
CA 92807. (tel) 714.666.2700 (fax) 714.238.2049

92. Sentry Systems - fingerprint identification. 1156 S. State
Street #103, Orem, UT 84058. (Tel) 801.225.4523 (Fax)
801.225.0936

93. Ultra-Scan Corporation - fingerprint capture and
identification system. 4240 Ridge Lea Rd. Amherst, NY
14226-1016 (Tel) 716.832.6269 (Fax) 716.832.2810

E. 与生物识别技术有关的重大事件表

1. September 1997, Proceedings of IEEE published a special issue on automated biometrics.
2. 1997, The Biometric Consortium established the National Biometric Test Center (NBTC) at San Jose State University in the spring of 1997. The Center is a testing, learning and educational organization, created for the development, documentation, dissemination, promotion and teaching of scientifically/mathematically sound, "real-world" performance standards, testing protocols. Working cooperatively with manufacturers, government and non-government users, the NBTC will test and certify any such devices to these standards, on behalf of the Biometric Consortium (BC) for the biometric industry. [1]
3. 1998, AFB was setup. The Association for Biometrics is an organization that aims to promote the awareness and development of biometrics related technologies. It provides an international forum for research and development, system design and integration, application development, market development and other issues. [2]

4. 1998, Association for Biometrics (AfB) and International Computer Security Association (ICSA) published the Glossary of Biometric Terms. [3]
5. August 16–20 1998, ‘14th Int’l Conference on Pattern Recognition’, has a tutorial on automated biometrics. [4]
6. From 1997, San Jose University began to provide a course “Biometric Identification Science and Technology” to graduate students. [5]
7. In February 1997, Oracle Corp., of Redwood City, Calif., Began offering Indentix Inc.’s fingerprint reader and firmware along with Version 7.3 of its database, as well as all subsequent versions. [6]
8. In May of 1997, IBM published a “challenge to the biometric industry” to show that large-scale identification systems (enrollment on the order of 25 million people) are technically feasible. [7]
9. April 1998, BioAPI was established. The BioAPI Consortium was formed to develop a widely available and widely accepted API that will serve for various biometrics technologies. [8]
10. September 1998, IBIA was set up. The International Biometric Industry Association (IBIA) is a trade association founded in September 1998 in Washington, D.C., to advance,

advocate, defend and support the collective international interests of the biometric industry. [9]

11. Oct. 1998, Banking on Biometrics '98 was convened. It is a Biometrics Conference for financial institutions, Banks, Credit Unions, S&Ls, Card Processors, Integrators, Biometrics Vendors, Brokers & Investors, Hardware Manufacturers. [10]

References

[1] <http://www-engr.sjsu.edu/~graduate/biometrics/>

[2] <http://www.afb.org.uk/>

[3] <http://www.afb.org.uk/glossuk1.html>

[4] <http://www.cssip.elec.uq.edu.au/~icpr98/>

[5]

<http://www-engr.sjsu.edu/~graduate/biometrics/engr297.html>

[6] <http://www.bioapi.org/>

[7] <http://www.dss.state.ct.us/digital/news11/bhsug11.htm>

[8] <http://www.zdnet.com/pcweek/news/0112/12bio.html>

[9] <http://www.ibia.org/>

[10] <http://webusers.anet-stl.com/~wrogers/biometrics/conf/bo/98/>

在学习期间参加的项目、获奖情况及完成的论文

● 参加的项目

[1] Vector-based Map Tour on the Internet. Funded by IBM, Emerging Market department.

[2] The Biometrics Technology Center. Funded by the University Grant Committee of Hong Kong.

● 获奖情况

[1] 1997, 1998, Excellent teacher on Object-oriented Techniques, awarded by IBM and the Ministry of Education, China.

[2] 1998, Excellent teacher, awarded by Peking University.

[3] 1999, HKAUW Thomas H. C. Cheung Postgraduate Scholarship.

● 完成的学术论文

[1] W. X. Li, D. Zhang and J. You, An Effective Approach to Off-line Palmprint Identification, 2000, Hong Kong, International Workshop on Multimedia Data Storage, Retrieval, Integration and Applications, pp. 284-288.

[2] Chaobin Li and Wenxin Li, Toward a Generic Framework for the Development of Distance Courses on Physical Education,

World Computer Congress 2000, Beijing, Proceeding of ICEUT, pp. 356.

[3] Chaobin Li, Minyue Tian and Wenxin Li, Delivering Physical Education Courses via the Internet, Pre-Olympic Congress 2000, Brisbane, Sept. 7-13, 2000, pp. 234.

[4] 马福喜, 李文新, 河口水流波浪潮流泥沙河床变形二维数学模型, 水利学报, pp. 39-43, 1999. 5。

[5] Jane You, David Zhang and Wenxin Li, Hierarchical Palmprint Identification via Multiple Feature Extraction, accepted by Pattern Recognition.

[6] Wenxin Li, David Zhang, Jane You and Zhuoqun Xu, A Texture-based Approach to Palmprint Retrieval for Personal Identification, Storage and Retrieval for Media Databases, 20-26 January 2001, San Jose, California, USA, Proceeding of Multimedia Storage and Retrieval, pp. 415-424.

[7] W. X. Li, D. Zhang, J. You and Z. Q. Xu, A Texture-based Dynamic Selection Scheme for Palmprint Identification, Proceeding of 13th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering, pp. 110-113, November 1-3, 2000, Hawaii, USA.

[8] Wenxin Li, David Zhang, Xuan niu and Zhuoqun Xu, Texture-based Palmprint Retrieval Using Layered Searching

Scheme for Personal Identification, submitted to IEEE Transaction on Multimedia.

[9] Wenxin Li, David Zhang and Zhuoqun Xu, Palmprint Identification by Fourier Transform, submitted to Pattern Recognition.

[10] Wenxin Li, David Zhang and Zhuoqun Xu, On-line Personal Identification by Palmprint, submitted to IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence.

[11] 李文新, 张大鹏, 许卓群, 一种基于掌纹库检索进行人的身份鉴别的新方法, 投稿 – 计算机研究与发展。

致 谢

衷心感谢导师许卓群教授十年来的悉心指导。人生能遇上个好老师是一种幸运,而我却是格外地幸运。许老师对事物本质的透彻剖析和对新生事物的敏锐洞察常常使他周围的人感觉看到了智慧的灵光和科学研究的无穷魅力。是他引我走进科学的殿堂,从而拥有丰富的人生并享有科学研究所带来的异乎寻常的喜悦与满足。

衷心感谢香港理工大学的张大鹏教授。是他帮我选定了基于掌纹识别的身份鉴别的课题,给我提供了在香港理工大学学习的机会,并且毫无保留地将他多年搜集的资料和研究成果传授给我。

衷心感谢澳大利亚 Griffith 大学计算机系的尤佳博士。是她给我全

面透彻地讲解了图像处理的各种技术和英文写作技巧。没有与她在一起的彻夜不眠的多次讨论，就没有今天的这篇论文。

衷心感谢深圳红光奥康公司的钮旋总工程师和刘杰工程师在硬件开发和软件接口开发方面所做的工作。衷心感谢香港理工大学的毛宇恒同学在数据的搜集和应用系统的开发方面所做的工作。

衷心感谢陆钟辉教授十年来在学习和工作上的帮助。衷心感谢董世海教授、清华大学自动化系的边肇祺教授、张常水教授和哈尔滨工业大学计算机系的舒文豪教授在论文的研究中所给予的启发式的指导。

衷心感谢香港理工大学的舒悦、徐睿峰、江伟健等同学在论文的研究过程中所给予的关心和帮助。

衷心感谢张宁副教授、宋今博士在工作上给予的帮助。

衷心感谢父母给予我的永恒的爱和信心，感谢丈夫李朝斌、儿子李名驰和公婆给予我的宽容、理解和支持。感谢在我的人生旅途中有幸遇到的所有朋友的支持和帮助。

李文新

2001年4月

于燕园