

自动指纹识别技术

祝 恩 殷建平 张国敏 胡春风 著



国防科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

自动指纹识别技术/祝恩, 殷建平等著. —长沙: 国防科技大学出版社, 2006.5

ISBN 7-81099-328-3

I. 自… II. 祝… III. 肤纹鉴定—图像识别 IV. TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 059839 号

国防科技大学出版社出版发行

电话: (0731) 4572640 邮政编码: 410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑: 曹 红 责任校对: 肖 滨

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 7.5 字数: 195 千

2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数: 1-2000 册

ISBN 7-81099-328-3/TP·40

定价: 22.00 元

前 言

生物认证是指基于生物特征进行身份认证，生物特征包括指纹、虹膜等与生俱来的生理特征和步态、笔迹等后天习惯形成的行为特征，身份认证即对人的身份进行鉴别。身份认证在日常生活中无处不在，如登录操作系统、访问授权信息、到银行取钱、疑犯鉴别等。传统的身份认证方式包括使用密码、口令等基于知识的身份认证方式和使用钥匙、身份证等基于令牌的身份认证方式，但密码、口令等容易忘记、容易攻击、容易泄漏，钥匙和身份证等容易被盗、容易丢失、容易伪造、容易冒用。使用指纹、虹膜等基于生物特征的身份认证方式相对传统的身份认证方式更方便、更安全，密码和钥匙等需要记忆或携带，而生物特征则不必像密码那样需要记忆，也不必像钥匙那样需要有意识地携带，而且不会丢失、不可冒用、难以攻击。常用的生物特征包括人脸、指纹、手形、虹膜、视网膜、签名、声音等，不同的生物特征应用于不同的应用领域，在特定的应用场合选择哪一种生物特征进行身份认证和应用要求以及该生物特征的特点有关。每一种生物特征都有各自的优缺点，不同的生物特征通常可通过普遍性、独特性、稳定性、可采集性、可达到的系统性能、接受程度、防欺骗

性来进行比较。相对来说,指纹的综合性能比较突出,因而其应用领域最为广泛,对指纹识别的研究也相对成熟。许多人都错误地认为,指纹识别中的问题已经得到彻底解决,但事实并非如此,从最近的国际比赛测试中可以看出,指纹识别系统并没有达到商业产品所宣传的正确率,指纹识别中仍然有许多关键问题有待研究,如低质量图像的特征提取与匹配问题,扭曲指纹的匹配问题等,正确率较高的识别系统一般也消耗较多的 CPU 时间和存储空间。因而近年来指纹识别的研究非常活跃,国内外研究机构众多,并取得了较多的研究成果。

由于指纹识别在实际应用和测试中表现出的问题,我们针对一些关键问题进行了研究,主要包括低质量图像的特征提取与识别技术,以及指纹注册和分类技术,具体研究内容与结果主要包括:(1)深入研究了低质量指纹图像纹路方向计算和图像分割方法,提出了基于神经网络对纹路方向正确性进行训练和学习的方法,以及在此基础上的指纹分割方法。该方法中的神经网络对特定图像块在不同方向上有不同的响应结果,根据这些响应结果也可以确定图像块的纹路方向并进行指纹分割。(2)深入分析了指纹图像区域类型,提出了对指纹图像进行二次分割以去掉残留纹路的方法。该方法在指纹初分割分离不含纹路的区域和纹路结构无法恢复的纹路区域的基础上,对余下区域进行分析,分离出残留纹路区域,从而减少错误特征的提取。(3)深入分析了指纹图像的增强,改进了基于 Gabor 滤波器的指纹增强方法,

从而改善了低质量图像的增强效果，提高了特征提取的正确率。(4) 提出了基于多参考节点的指纹匹配方法。该方法先用多对参考节点将两个指纹对齐，然后再评估两组节点的匹配程度。多参考节点分布在指纹的各个区域，多对参考节点对齐后，两个指纹各区域的对齐程度会相对均衡。(5) 针对小面积指纹的匹配和不含节点的图像区域的匹配，提出了结合节点和方向场的匹配方法，在用节点进行旋转和平移对齐的基础上，计算两个指纹方向场的一致性。(6) 提出了使用曲线坐标系表示节点关系和进行节点匹配的方法。对于指纹中的每个节点，建立曲线坐标系，计算其他节点在该坐标系中的坐标。这样，可以计算出每两个节点之间的坐标关系，用于进行指纹匹配。(7) 提出了基于方向正确性计算指纹质量从而指导指纹注册的方法，以及在指纹注册阶段将多个输入指纹的特征拼接成一个模板指纹的方法。(8) 提出了基于平均周期的指纹分类方法。基于指纹平均周期的分类方法通过计算指纹的平均周期并按照平均周期将数据库中的指纹进行排序，该方法有助于提高指纹的搜索速度。

研究工作取得的结果发表在 Pattern Recognition 等刊物和会议上，但这些结果的发表是零散的、不太系统的，为了便于交流，我们将这些结果系统地组织成书。全书共 9 章，第 1 章为绪论，对指纹识别进行概述；第 2 章至第 8 章对应以上的研究结果，分为三部分，第一部分（第 2、3、4 章）介绍特征提取方法，第二部分

(第5、6、7章)介绍匹配方法,第三部分(第8章)介绍系统相关的技术;第9章为结束语,进行总结和展望。

本书适用于从事指纹识别技术研究或系统开发的人员,也可用作高等院校模式识别或人工智能等课程的辅助教材或参考书。

本书中的研究工作是以前人的工作为起点的,书中引用了许多前人的工作成果,借此机会,特别感谢这些为我们的工作创造了起点的专家学者。感谢国防科技大学计算机学院的院领导、系领导、机关以及教研室的同事们对本书工作的支持与帮助。感谢国防科技大学出版社特别是责任编辑在本书出版过程中付出的辛勤劳动。

作者

2006年5月

目 录

第1章 绪 论

§ 1.1 研究背景	(1)
1.1.1 社会需要指纹识别	(1)
1.1.2 指纹识别有待提高	(4)
1.1.3 指纹识别十分活跃	(5)
§ 1.2 研究现状	(6)
1.2.1 指纹识别的过程与性能评估参数	(6)
1.2.2 指纹图像基本特征	(11)
1.2.3 指纹图像获取与压缩	(13)
1.2.4 指纹图像特征提取	(16)
1.2.5 指纹匹配	(22)
1.2.6 指纹分类与索引	(25)
1.2.7 指纹识别的安全技术	(27)
1.2.8 研究现状总结	(28)
§ 1.3 研究内容	(28)
1.3.1 方向计算的研究	(30)
1.3.2 指纹分割的研究	(31)
1.3.3 指纹增强的研究	(31)

1.3.4 指纹匹配的研究	(32)
1.3.5 指纹分类的研究	(33)
§ 1.4 研究成果	(34)
§ 1.5 篇章结构	(36)

第一部分

低质量指纹图像特征提取技术的研究

第2章 基于方向正确性的纹路方向纠正与指纹分割

§ 2.1 相关工作分析	(43)
2.1.1 纹路方向计算分析	(43)
2.1.2 指纹图像分割分析	(47)
§ 2.2 基于方向正确性的方向纠正与指纹分割的基本思想	(49)
§ 2.3 纹路方向正确性计算与指纹初分割	(50)
2.3.1 方向计算	(50)
2.3.2 分割特征计算与对比分析	(51)
2.3.3 方向正确性计算与图像初分割	(56)
§ 2.4 指纹图像中残留纹路区域的二次分割	(58)
§ 2.5 纹路方向纠正与分割修正	(60)
2.5.1 分割修正规则	(62)
2.5.2 方向纠正	(67)

目 录

§ 2.6 实验结果	(68)
§ 2.7 小结	(80)
 第 3 章 基于神经网络的纹路方向计算和指纹分割	
§ 3.1 相关分析	(81)
§ 3.2 基于网络响应的方向计算与指纹分割	(83)
3.2.1 网络响应场计算	(84)
3.2.2 响应场方向域低通滤波	(85)
3.2.3 响应场图像域低通滤波	(85)
3.2.4 方向选择与图像分割	(86)
§ 3.3 实验结果	(88)
§ 3.4 小结	(94)
 第 4 章 基于圆形 Gabor 滤波器的指纹图像增强	
§ 4.1 引言	(95)
§ 4.2 指纹增强	(97)
§ 4.3 实验结果	(100)
4.3.1 定性分析	(100)
4.3.2 定量分析	(106)
§ 4.4 小结	(107)

第二部分

指纹匹配技术的研究

第5章 基于多参考节点的指纹匹配方法

§ 5.1 引言	(111)
§ 5.2 节点特征描述	(113)
§ 5.3 指纹匹配	(117)
5.3.1 多参考点的获取	(119)
5.3.2 多参考点的对齐	(119)
5.3.3 节点配对	(121)
5.3.4 匹配分数计算	(123)
§ 5.4 实验结果	(124)
§ 5.5 小结	(127)

第6章 一种结合节点和方向场的指纹匹配方法

§ 6.1 引言	(128)
§ 6.2 结合节点和方向场的匹配方法	(130)
6.2.1 节点对齐	(130)
6.2.2 方向场匹配	(131)
6.2.3 相似度计算	(133)
§ 6.3 改进的结合节点和方向场的匹配方法	(134)

目 录

§ 6.4 实验结果	(136)
§ 6.5 小结	(137)

第 7 章 基于曲线坐标系的节点关系表示与匹配方法

§ 7.1 引言	(138)
§ 7.2 节点关系计算	(140)
7.2.1 节点与奇异点	(140)
7.2.2 坐标轴的提取	(141)
7.2.3 坐标轴刻度计算	(143)
7.2.4 坐标计算	(145)
§ 7.3 节点匹配	(147)
§ 7.4 实验结果	(150)
§ 7.5 小结	(154)

第三部分

自动指纹识别系统相关技术的研究

第 8 章 自动指纹识别系统相关技术

§ 8.1 基于方向正确性的图像质量计算	(157)
8.1.1 相关工作	(157)
8.1.2 基于方向正确性的图像质量计算	(158)
8.1.3 实验结果	(160)

§ 8.2 模板特征拼接技术	(161)
8.2.1 相关工作	(161)
8.2.2 问题描述	(162)
8.2.3 特征拼接	(163)
8.2.4 实验结果	(165)
§ 8.3 基于平均周期的指纹分类技术	(166)
8.3.1 相关工作	(166)
8.3.2 平均周期的计算方法	(167)
8.3.3 一对多比对时的搜索方法	(170)
8.3.4 周期的放大分析	(170)
8.3.5 实验结果	(171)
8.3.6 讨论	(174)
§ 8.4 系统设计与实现	(175)
8.4.1 系统模块结构设计	(175)
8.4.2 系统主要功能演示	(177)
8.4.3 系统性能测试结果	(177)
§ 8.5 小结	(186)

第9章 结束语

§ 9.1 总结	(187)
§ 9.2 展望	(190)

附录 A 各种质量的指纹图像增强与分割结果对比

A.1 在 SecuGen 采集的指纹图像上的结果	(192)
---------------------------------	-------

目 录

A.2 在 FVC2000 _ DB1 的指纹图像上的结果	(194)
A.3 在 FVC2000 _ DB2 的指纹图像上的结果	(195)
A.4 在 FVC2000 _ DB3 的指纹图像上的结果	(196)
A.5 在 FVC2000 _ DB4 的指纹图像上的结果	(197)
A.6 在 FVC2002 _ DB1 的指纹图像上的结果	(198)
A.7 在 FVC2002 _ DB2 的指纹图像上的结果	(199)
A.8 在 FVC2002 _ DB3 的指纹图像上的结果	(201)
A.9 在 FVC2002 _ DB4 的指纹图像上的结果	(202)
A.10 在 FVC2004 _ DB1 的指纹图像上的结果	(203)
A.11 在 FVC2004 _ DB2 的指纹图像上的结果	(204)
A.12 在 FVC2004 _ DB3 的指纹图像上的结果	(205)
A.13 在 FVC2004 _ DB4 的指纹图像上的结果	(207)
参考文献	(208)

第1章 绪论

§ 1.1 研究背景

1.1.1 社会需要指纹识别

日常生活中的许多场合都需要进行身份认证,如登录操作系统,使用某些应用软件,登录网络站点,到银行取钱,鉴别疑犯,进入军事要地等。

传统的身份认证方式包括基于知识(如密码、口令)(What you know)的身份认证和基于令牌(如钥匙、身份证)(What you have)的身份认证。传统的身份认证方式存在许多缺点:密码和口令存在容易忘记、容易攻击、容易泄漏等问题,钥匙和身份证等存在容易被盗、容易丢失、容易伪造、容易冒用等问题。传统的身份认证方式的这些缺点给我们的生活带来了诸多不便和很多安全问题。比如口令的盗取,别人只要留意用户在计算机终端前输入口令时的击键动作就可以知道用户的口令,甚至可以通过你的生日、年龄、姓名或者其他一些信息猜出你的口令,因为许多人使用自己的生日等信息来作为口令。尽管现行系统通过要求用户及时改变他们的口令来防止盗用口令的行为,但这种方法不但增加了用户的记忆负担,也不能从根本上解决问题。基于令牌的身份认证不要求用户费力地记住口令,但令牌存在容易丢失、容易被盗、容易伪造等问题,如证件的伪造和盗用、不正当的转借等。一些罪犯通过伪造证件进入机密场所窃取机密信息,有的罪犯伪造签证和护照非

法入境或移民,这都是因为传统的证件使用的是易于伪造、未经加密的纸制证件造成的。因此,必须寻找更加方便、更加安全可靠的身份认证方式已是势在必行。

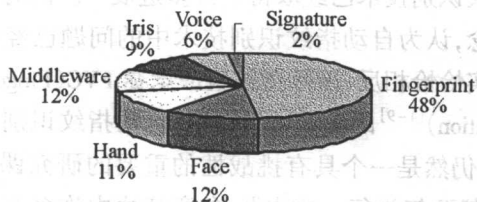
基于生物特征的身份认证方式(What you are/What you do)可以克服传统身份认证方式的许多缺点。每个人都具有多种生物特征。生物特征包括生理特征和行为特征,生理特征是指与生俱来的特征,如指纹、虹膜、DNA 等。行为特征是指后天习惯形成的特征,如步态、笔迹等。每个人都拥有许多种生物特征,生物特征不会被忘记和丢失。对于每一种生物特征的性质,可以用一些参数来描述,包括(1)普遍性(Universality),是否每个人都具有这种特征;(2)唯一性(Uniqueness),是否任何两个人的这种特征都不同;(3)恒久性(Permanence),是否终生不变;(4)可采集性(Collectability),是否容易采集;(5)性能(Performance),识别的正确性如何;(6)接受程度(User Acceptance),用户是否愿意接受这种身份认证方式;(7)防欺骗性(Resistance to Circumvention),防止环境欺骗的能力。表 1.1^[1]列出了常用生物特征的参数比较,每个参数分 High、Medium 和 Low 三个等级,其中 High 最好,Low 最差。如果根据性能等级给每个参数打分:High 为 3 分,Medium 为 2 分,Low 为 1 分。各生物特征总的得分分别为:人脸 14 分、指纹 18 分、手形 15 分、虹膜 18 分、视网膜 16 分、签名 11 分、声音 11 分。指纹和虹膜的得分最高,而虹膜的用户接受程度为 Low,指纹中没有等级为 Low 的参数。可见,众多生物特征中指纹是较为理想的一种用于身份认证的生物特征。在各种基于生物特征的身份认证方法中,指纹识别所占有的市场份额最大,图 1.1 是国际生物识别组织 IBG(International Biometric Group)^[2]对 2004 年各种生物特征的市场份额的比较报告,其中指纹识别的市场份额为 48%。同时,基于生物特征的身份认证方法的市场收入额在逐年上升,图 1.2 是 IBG^[2]对生物认证方法在未来几年内市场收入额的预测,可见社会越来越需

要基于生物特征的身份认证,尤其是基于指纹的身份认证方式。

表 1.1 常用生物特征的比较^[1]

生物特征	普遍性	独特性	稳定性	可采集性	性能	接受程度	防欺骗性
人脸	High	Low	Medium	High	Low	High	Low
指纹	Medium	High	High	Medium	High	Medium	High
手形	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium
虹膜	High	High	High	Medium	High	Low	High
视网膜膜	High	High	Medium	Low	High	Low	High
签名	Low	Low	Low	High	Low	High	Low
声音	Medium	Low	Low	Medium	Low	High	Low

2004 Comparative Market Share by Technology
(not including AFIS revenue)



Copyright (c) 2004 International Biometric Group

图 1.1 IBG 对 2004 年各种生物特征的市场份额的统计^[2]

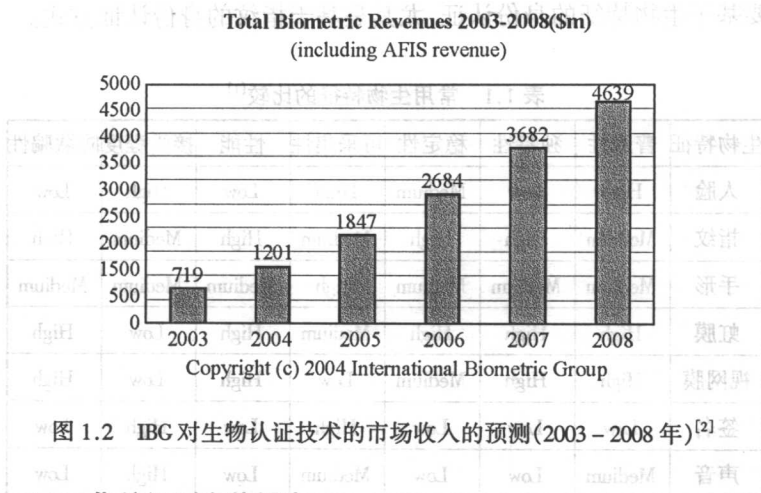


图 1.2 IBG 对生物认证技术的市场收入的预测(2003 - 2008 年)^[2]

1.1.2 指纹识别有待提高

计算机的出现使指纹识别进入了自动化阶段。近些年来,国内外自动指纹识别技术已经取得了许多进展^[3]。同时许多人存在一个错误观念,认为自动指纹识别技术中的问题已经得到彻底解决。然而事实恰恰相反,国际指纹验证竞赛 FVC(Fingerprint Verification Competition)^[4-9]的测试结果表明,自动指纹识别仍有许多问题等待解决,仍然是一个具有挑战性的重要的研究课题。FVC 从 2000 年开始每两年举行一次^[4-9],参赛算法中许多都代表着世界领先的算法。从比赛结果来看,指纹识别算法的正确率远远低于市场上所宣传的指纹识别产品的正确率;正确率较高的算法所需的运算时间也相对较长,消耗的存储空间较多,有些算法虽然能达到较高的正确率,但消耗的系统时间、空间资源在实际的应用中是难以让人接受的;低质量指纹图像的匹配还是一个挑战性的难题;扭曲指纹的识别问题还有待进一步解决。

目前的自动指纹识别系统的正确率还远远达不到指纹鉴别专