



國防科技大學

全国优秀博士学位论文丛书 [第三辑]

低质量指纹图像的特征提取 与识别技术的研究

祝恩 著

国防科技大学出版社

低质量指纹图像的特征提取 与识别技术的研究

祝 恩 著

国防科技大学出版社
·长沙·

图书在版编目(CIP)数据

低质量指纹图像的特征提取与识别技术的研究/祝恩著. —长沙:国防科技大学出版社, 2009.6

(国防科学技术大学全国优秀博士学位论文丛书.第3辑/曾淳主编)

ISBN 978 - 7 - 81099 - 605 - 1

I. 低… II. 祝… III. 肤纹鉴定—图像识别—研究 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 022491 号

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)84572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:耿 筠 责任校对:唐卫葳

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:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:287 千

2009 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1 - 1000 册

ISBN 978 - 7 - 81099 - 605 - 1

全套定价:300.00 元

国防科学技术大学
全国优秀博士学位论文丛书
第3辑

主 编 曾 淳

副主编 王维平 王雪松 张春元 张航宇 周珞晶

序 言

积淀孕育创新，智慧创造价值。

寒窗苦读，拼搏奋斗的积淀凝聚成一本本厚积薄发的论文。博士学位论文是博士生学术水平、科研能力、创造性成果的集中体现，也是学校研究生教育水平、学术水平和创新能力的重要标志。全国博士学位论文水平反映了我国高层次创新型人才培养的质量。作为国家 21 世纪教育振兴行动计划的重要内容，教育部每年评选 100 篇左右的全国优秀博士学位论文。该举措已成为提高研究生培养质量、鼓励创新、促进高层次创造性人才脱颖而出的重要措施。

自 1999 年教育部开展全国优秀博士学位论文评选以来，我校积极参加评选工作，同时参加湖南省和军队优秀博士、硕士学位论文的评选，并以此为契机，在我校研究生中大力倡导科学严谨的学风和勇攀高峰的精神，营造鼓励人才积极创新、支持人才实现创新的浓厚氛围，为学生的禀赋和潜能的充分开发创造一种宽松的环境；采取切实可行的措施，加强学科建设；通过深化研究生学位论文评阅制度改革，完善学位论文抽检制度，实施研究生创新工程，加强研究生导师队伍建设，建立激励机制，鼓励优秀人才脱颖而出等措施，不断完善质量保证体系和监督机制，全面提高研究生培养质量。迄今为止，我校已有 11 篇学位论文获全国优秀博士学位论文，另有 9 篇博士学位论文被评为全国优秀博士学位论文提名论

文。

睿智颖悟,优秀博士学位论文展现给我们的不仅仅是丰硕的科研成果,更是巨大的精神财富。全国优秀博士学位论文是我国优秀博士学位论文中的杰出代表,全国优秀博士学位论文作者是具有创造能力和竞争能力的高层次创造性人才,是支撑国家崛起的骨干创新力量。认真总结全国优秀博士学位论文的成功经验,对于进一步提高博士生教育的整体水平,培养数量更多、水平更高的高层次创造性人才,具有十分重要的启示作用。2005年3月,我们汇集出版了我校2004年及之前获得的10篇全国优秀博士学位论文和全国优秀博士学位论文提名论文;2007年4月,我们又汇集出版了我校2005—2006年获得的4篇全国优秀博士学位论文和全国优秀博士学位论文提名论文。在此基础上,现将我校2007—2008年获得的6篇全国优秀博士学位论文和全国优秀博士学位论文提名论文汇集出版。此举旨在为广大在学博士生及其导师树立高水平博士学位论文的范本和学习榜样,也期望进一步推动我校研究生教育改革的深入发展,以培养高层次创新性人才为目标,认真总结创新性人才的培养经验和方法,深入探讨博士生教育改革的思路 and 措施。

当今世界,科学技术日新月异,科技创新已经成为社会生产力解放和发展的重要标志。科学技术的迅猛发展正在引发一场广泛而深刻的军事变革,信息化战争时代已经来临。在新的历史条件下,面对世界新军事变革的严峻挑战,面对推进中国特色军事变革和军事斗争准备的紧迫需求,军队研究生教育的地位和作用比以往任何时候都更加突出。

国防科技大学承担着为国防安全和军队信息化建设、研究开发国防高科技和先进武器装备、培养军队高级工程技术和指挥人才的历史使命,是

我军实现新军事变革和军队信息化建设的高层次人才培养和科学研究重要基地。提高人才培养的质量已成为我们现阶段亟须关注的问题之一。我们要在培养大批各类专业和指挥人才的同时，努力为优秀创新人才的脱颖而出创造条件。尤其要下功夫造就一批真正能站在世界科学技术前沿的学术带头人和尖子人才，以应对世界新军事变革的严峻挑战，为推进中国特色军事变革做出新的更大贡献。

国防科学技术大学研究生院

曾淳

2008年12月于长沙

2007—2008 年国防科技大学 全国优秀博士学位论文及 全国优秀博士学位论文提名论文

2007 年一篇全国优秀博士学位论文:

计算机科学与技术学科,祝恩博士的论文《低质量指纹图像的特征与识别技术的研究》,导师殷建平教授。

2007 年一篇全国优秀博士学位论文提名论文:

电子科学与技术学科,付云起博士的论文《微波光子晶体及其应用研究》,导师袁乃昌教授。

2008 年三篇全国优秀博士学位论文:

机械工程学科,王刚博士的论文《声子晶体局域共振带隙机理及减振特性研究》,导师温熙森教授;

控制科学与工程学科,武元新博士的论文《对偶四元数导航算法与非线性高斯滤波研究》,导师胡德文教授;

计算机科学与技术学科,李东升博士的论文《基于对等模式的资源定位技术研究》,导师卢锡城教授。

2008 年一篇全国优秀博士学位论文提名论文:

电子科学与技术学科,袁成卫博士的论文《新型高功率微波共轴模式转换器及模式转换天线研究》,导师钟辉煌教授。

分类号 TP391
UDC

学号 0169013
密级 公 开

工学博士学位论文

低质量指纹图像的特征提取 与识别技术的研究

博士生姓名：祝 恩
学 科 专 业：计算机科学与技术
研 究 方 向：计算机应用技术
指 导 教 师：殷建平教授

国防科学技术大学研究生院
二〇〇五年四月

Research on the Technologies of Feature Extraction and Recognition for Low Quality Fingerprint Image

Candidate: Zhu En

Supervisor: Prof. Yin Jian-ping

A Dissertation

Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy

School of Computer Science

National University of Defense Technology

Changsha, Hunan, P. R. China

April, 2005

摘 要

指纹识别是基于生物特征的身份认证方式之一,虽然指纹识别领域已有许多研究成果,但随着社会对指纹识别的迫切需要,以及指纹识别技术在实际应用和测试中表现出的许多不足,近年来,许多研究机构都十分活跃地进一步深入研究指纹识别领域的各种关键技术,以提高指纹识别的性能和解决实际应用中的问题,从而加速指纹识别技术的普及。在这种情况下,本文对指纹识别领域的主要关键技术进行了深入研究,主要包括低质量指纹图像的特征提取技术、指纹匹配技术和指纹识别系统相关技术,最后实现了一个自动指纹识别系统。本文工作的主要贡献和创新总结如下:

(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。低质量指纹图像的纹路方向的正确计算是正确提取特征和进行匹配的基础,针对现有基于梯度和低通滤波方法的缺点,本文在用梯度法计算纹路方向的基础上,结合指纹分割对方向的初步计算结果的正确性进行训练和计算,从而根据方向正确性进行指纹分割并根据正确方向纠正错误方向。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。实验结果表明这些方法有效地提高了低质量指纹图像特征提取的正确率。

(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。许多指纹分割算法能够有效分离不含纹路的区域和纹路结构无法恢复的纹路区域,而无法有效分离纹路结构清晰的残留纹路区域。二次分割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。纹理滤波方法是指纹增强中普遍使用的方法,为了提高程序运行速度,滤波器通常采用查表方式实现,因而必须将滤波参数离散处理,另外在核心点附近纹路方向变化较快,这些

都可能导致增强结果中产生块效应;滤波器的形状和尺寸不同,纹路的增强结果也会有明显不同。本文对这些问题进行了实验分析,对基于 Gabor 滤波器的增强方法进行了改进,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。目前的指纹识别系统主要采用基于节点的匹配方法,已有的基于节点的匹配方法通过某种策略分别从模板指纹和输入指纹中选取一个节点作为参考节点对,在进行节点匹配时先将参考节点对齐,然后再评估其他节点的匹配程度,这种方法能保证离参考节点较近的区域对齐程度较好,而离参考节点较远的区域对齐程度会相对较差。本文提出了基于多参考节点整体对齐的指纹节点匹配方法,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。实验表明,该方法能有效地提高系统的识别性能。

(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算法,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。实验结果表明:该算法可以比现有的基于节点的匹配算法更准确地区分两个指纹。

(6)针对扭曲指纹的匹配问题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。在此基础上用基于迁移参考节点的匹配方法进行节点配对。FVC2004 的数据库是指纹扭曲程度较大的数据库,将该方法在这些数据库上进行测试,结果表明,该方法提高了自动指纹识别的正确率。

(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。自动指纹识别系统在指纹注册阶段的注册指纹的质量的好坏会影响在识别阶段的正确率,实验结果表明,本文的图像质量计算方法能够有效指导指纹注册,提高识别正确率。多个模板指纹的拼接则能有效利用注册阶段各输入模板指纹的特征,可以提高系统的识别性能。

(8)提出了基于平均周期的指纹分类方法。Henry 分类模式是目前通用的指纹分类模式,目前的许多分类算法都围绕如何提高 Henry 分类模式的正确率,但 Henry 模式类数少,分布不均匀,而且对有些指纹图像存在错误分类、拒绝分类和难以分类等问题。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,该方法可以提高指纹的搜索速度。若将基于指纹周期的分类算法和现有的指纹分类算法结合起来,则可望进一步提高指纹搜索效率。

论文最后实现了一个自动指纹识别系统,采用层次化、模块化设计,系统集成了本文中的主要算法。

关键词: 指纹识别; 特征提取; 特征匹配; 指纹分类; 纹路方向; 指纹分割; 指纹增强; 多参考节点; 方向场; 曲线坐标系; 质量计算; 特征拼接

ABSTRACT

Fingerprint recognition is one of the technologies of biometric authentication. It plays a more and more important role in many regions. Although, fingerprint recognition has been extensively studied and many advances have been made on it, there are still many problems expected to be solved which are shown in actual applications and evaluations (e.g. FVC). As a consequence, in recent years, many academies and industries have been making an in-depth research on fingerprint recognition technologies. This thesis has studied the main technologies of fingerprint recognition, mainly including feature extraction of low quality image and fingerprint matching, and makes the following contributions:

(1) Ridge orientation estimation and segmentation of low quality fingerprint image are explored, and a neural network based method to train the correctness of ridge orientation is proposed. The trained network can also be used to segment fingerprint image. Due to the limit of ridge orientation estimation method based on gray gradient and low-pass filtering, we train the correctness of the estimated ridge orientation and those image blocks with incorrect estimated orientation can be segmented as background. At the same time, the incorrect estimated orientation can be revised according to the around correct orientations. Also, the trained network responds to a ridge block with different values for different orientations: the responding value for the real ridge orientation is larger than other orientations, and thus the trained network can be used to estimate ridge orientation. Experimental results show that these methods can improve minutiae extraction.

(2) The types of fingerprint image regions are analyzed, and a secondary segmentation method to segment remaining ridges, which is the afterimage of the previously scanned finger, is proposed. Many existing segmentation methods can effectively separate non-ridge regions and unrecoverable ridge regions from the regions of clear or recoverable ridge structure, called primary segmentation, but are not able to segment the afterimage ridges. Secondary segmentation follows the steps of primary segmentation to cut the afterimage regions from the foreground of primary segmentation, and thus is able to avoid extraction of false features.

(3) A fingerprint enhancement algorithm based on Gabor filter is improved. Texture filtering

is a popular method of fingerprint enhancement. In order to speed up the run of program, filters have to be implemented by using lookup tables, which leads to the discretization of parameters. The discretization and rapid change of ridge orientations around the singular points will sometimes produce blocky effect. Besides, fingerprint image will take on different enhanced results with respect to different shapes and sizes of the filters. We investigate into these problems and revise the Gabor based fingerprint enhancement. Experimental results show that the revised method leads to an improved performance.

(4) A fingerprint matching method based on multiple reference minutiae is proposed. Most existing fingerprint identification systems match two fingerprints using minutiae-based method. Typically, they choose a reference minutia from the template fingerprint and the query fingerprint, respectively. When matching the two sets of minutiae, the template and the query, firstly the reference minutiae pair is aligned coordinately and directionally, and secondly the matching score of the rest minutiae is evaluated. This method guarantees satisfactory alignments of regions adjacent to the reference minutiae. However, the alignments of regions far away from the reference minutiae are usually not so satisfactory. We propose a minutia matching method based on global alignment of multiple pairs of reference minutiae. These reference minutiae are commonly distributed in various fingerprint regions. When matching, these pairs of reference minutiae are to be globally aligned, and those region pairs far away from the original reference minutiae will be aligned more satisfactorily. Experiment shows that this method leads to improvement in system identification performance.

(5) An approach to matching fingerprints using minutiae and orientation field is proposed. It first aligns two fingerprints based on their minutiae, and then computes the consistency of their orientation fields. Experiments show that this approach leads to substantial improvement in performance compared with current minutiae based approach.

(6) A minutiae relationship representation and matching method based on curve coordinate system is proposed. For each minutiae, a curve coordinate system is established, and the coordinates of other minutiae in this coordinate system is computed. Thus, the coordinate relationship between each pair of minutiae can be evaluated. These relationships are used for pairing minutiae between the template fingerprint and the query fingerprint by means of transferring reference minutiae. The algorithm is tested on FVC2004DBs which include many highly distorted fingerprints. The results show that the proposed algorithm achieves improved matching accuracy and is able to cope with highly distorted fingerprints.

(7) A quality estimation method of fingerprint image is proposed. This method is based on

the correctness estimation of ridge orientation using the trained neural network. The quality estimation method aims at directing choosing template fingerprint at the enrollment stage of a recognition system. Besides, a merging method of template fingerprint features is proposed to serve for the enrollment. Experimental results show that these methods improve the accuracy at the recognition stage of the system.

(8) A mean period based approach for fingerprint classifying is presented. It computes the mean period of every fingerprint and sorts fingerprints according to their mean periods. This approach speeds up the searching of fingerprint database efficiently. And perfect performance is possible if combining this method with traditional fingerprint classification.

An automatic fingerprint recognition system is modularizedly and layeredly designed and implemented. It packs the main algorithms proposed in this thesis.

Keywords: fingerprint recognition; feature extraction; feature matching; fingerprint classification; ridge orientation; fingerprint segmentation; fingerprint enhancement; multiple reference minutiae; orientation field; curve coordinate system; quality estimation; feature merging

目 录

摘 要.....	(i)
----------	-------

第一章 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	(3)
1.1.3 指纹识别十分活跃	(4)
1.2 研究现状	(5)
1.2.1 指纹识别的过程与性能评估参数	(5)
1.2.2 指纹图像基本特征	(8)
1.2.3 指纹图像获取与压缩	(10)
1.2.4 指纹图像特征提取	(12)
1.2.5 指纹匹配	(17)
1.2.6 指纹分类与索引	(19)
1.2.7 指纹识别的安全技术	(21)
1.2.8 研究现状总结	(21)
1.3 研究内容	(21)
1.3.1 方向计算的研究	(23)
1.3.2 指纹分割的研究	(23)
1.3.3 指纹增强的研究	(24)
1.3.4 指纹匹配的研究	(24)