第 6 卷　第 1 期　　光学　精密工程　　Vol. 6, No. 1
1998 年 2 月　　OPTICS AND PRECISION ENGINEERING　　February, 1998

模式识别理论在指纹自动识别中的应用

陆　颖　　宋建中
(中国科学院长春光学精密机械研究所　　长春　130022)

摘要　指纹自动识别是模式识别领域中的一项综合性研究。本文讨论了模式识别中几个主要的理论方法在指纹模式识别中的应用问题, 并基于模式识别理论给出了一个实际的指纹自动识别系统的软件工程框架和实验结果。

关键词　　模式识别　图像预处理　特征提取　指纹自动识别

1　引　　言

指纹因其具有唯一性和稳定性, 一直是身份鉴定的可靠手段。以指纹来代替其它个体识别技术(如印鉴、钥匙、密码、签字等) 是面向二十一世纪的具有深远意义的课题。近年来, 有关指纹自动识别的研究已成为模式识别、图像理解及计算机视觉等领域中广为关注的热点。指纹图像的自动识别是模式识别领域的一项综合性研究, 这一研究的成果将进一步完善多尺度分析和模式识别中的不变量理论, 丰富图像形态变换与分析理论, 拓展计算机视觉技术, 完善模糊图像处理及模糊模式识别的理论与方法, 同时, 也将为通过指纹揭示人体生命信息奠定一定的基础。本文对模式识别理论在指纹自动识别中的应用进行了探讨, 基于这些讨论建立了一个指纹自动识别系统的总体技术框架, 并进行了实验。在文章中也给出了实验结果, 证明我们的应用研究是成功的。

2　模式识别理论与指纹自动识别中存在的问题

在过去的二十年里, 绝大多数有关指纹自动识别的研究进展都是依据决策理论方法得到的, 主要的处理思想是从图像中提取指纹特征, 构成特征空间, 然后通过特征空间的划分来确

收稿日期: 1997- 08- 28
修稿日期: 1997- 09- 24

认一种模式的分类。其中包括两个方面的主要问题,一是特征的选择,在不明显降低识别系统的性能,即误识概率最小的前提下,减少所用特征的数目,这样可以使得决策风险最小。二是特征的分类,通常是采用线性分类器 $G_i(X) = \sum_{k=1}^{n} a_{ik}X_k + a_{i0}$ 进行判别,其中 X_k 为特征,a_{ik} 为权重,a_{i0} 为分类的阈值。通过对分类器进行训练和学习,使之选择最优的权重和阈值。由于模式的分类是基于一组选择好的特征,因而要求所选的特征量对图像的噪声、畸变和处理过程中的图像变换是不变的或是不敏感的。

在实际的图像采集过程中,由于手指每次印压的方位、力度不完全一样,会造成指纹图像不同程度的旋转和变形,加之各种其它因素造成的图像模糊、残缺和特征信息的丢失,使指纹图像中存在着大量的不确定性,因而对决策论法的统计模式识别而言,寻求相对尺寸、旋转、仿射不变的指纹图像不变量和有效地克服那些不确定性的特征量的提取算法就是指纹自动识别的关键。

指纹自动识别通常要经过图 1 所示的流程。在图 1 中,预处理和特征提取是两个主要的处理过程,也是解决各种指纹图像不确定性的关键步骤。图像处理和模式识别是各种理论方法和核心技术在这两个步骤中都有广泛的应用。下面我们仅就几个主要环节的应用进行讨论。

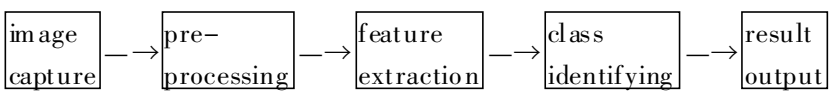

Fig. 1 Block diagram of automatic fingerprint identifying

图像预处理包括图像增强、滤波、二值化等过程。成功的预处理可以减少低质量的图像对分类结果的影响。由于指纹图像只包含纹线和谷线两种图案,因而通过图像分割技术来区分指纹图像的前景和背景是指纹预处理过程的核心内容。长期以来,许多人对指纹图像的二值化进行过研究,A. Rosenfield 和 A. B. Kak 采用适当的阈值对指纹图像进行分析[1],在指纹灰度值方图众数明显时,效果较好。Boukarouba 在 1985 年提出了直方图和分布曲线曲率相结合的方法[2],处理了具有多峰直方图的指纹图像。B. M. Methre 在 1987 年提出了方向图的分解方法[3],方向计算采用

Fig. 2 Automatic fingerprint identifying system

$$d = \min_{\text{沿各方向}} \sum_{m=1}^{L} \left| C(i_m, j_m) - C(j, j) \right|$$

并通过峰值点识别纹线的存在性。这一方法对清晰的纹线十分理想,但对三角点以及灰度均匀区域,峰值不明显。1980 年 D. Marr 等利用边缘窗口提取纹线轮廓,进而实现对图像分解[9],此方法对连续变化的灰度图像效果较好,它所存在的问题是对二值图像存在“洞”和“缺口”。

总结一下,各种图像分解算法都在追寻以下几个特性:

(1) 可探测模糊和信噪比差的图像,对图像反差不敏感。

(2) 具有二次分解的稳定性。

(3) 算法具有自适应性。

我们认为, 要得到良好的二值化效果, 应该改进指纹图像二值化算法只考虑灰度分布的情况, 需要进一步结合指纹图像的特点来分割图像。首先, 对指纹图像而言, 指纹的纹线和谷线是等宽的是一个合理的假设, 并且指纹图像仅由这两种图案所构成的前景和背景所组成, 各占50%左右。依据这些判据, 再结合局部灰度分布的考察, 可以得到具有自适应特性的自动门限。第二, 在指纹图像中, 考虑同一区域的像元应具有相近的连续变化的灰度, 根据“灰度变化平稳”这一假定和邻元灰度的变化来进一步确认像元隶属前景或背景的程度, 可以很好地排除不清晰指纹在自动门限附近的分割不一致性。第三, 为解决图像二值化算法在分割图像中视野太小的局限, 并同时对模糊区域和孤立噪声进行处理, 采用广义的拉普拉斯算子

$$\nabla_k^2 f(x,y) = f(x+k,y) + f(x-k,y) + f(x,y+k) + k(x,y-k) - 4f(x,y)$$

k 为步长, 对图像进行滤波。

我们结合以上三点, 采用自动门限技术对指纹图像进行成功的二值化处理, 算法的自适应性和准确性都令人满意。处理结果示于图 3。

经二值化后的图像, 其纹线宽是不均匀的, 这是因为原始图像的质量受手指压力大小的影响和图像采集过程中噪声的影响。虽然纹线的宽度并不包含指纹的特征信息, 但它的不均匀性会影响指纹特征的提取。因而, 二值化图像需经过细化处理以得到包含特征信息的骨架图像。通常, 图像的细化骨架算法可以分为基于内点的和基于外点的两种形式[5], 在算法特性上, 又可以分为串行算法和并行算法[6]。各种算法的问题主要在断点、毛刺、缩短和中心偏移上。由于 x-y 栅格的局限, 采用同一坐标系不可能同时消除以上各种缺陷。我们采用了不同坐标的骨架分解方法, 它是一种内、外点相结合的并行算法, 且与以往的逐点(Point by point)处理方法不同, 采用逐行(Line by line)的整体关系对二值图像进行细化处理。

这种图像的分解方法基于细化线是中心骨架线的属性, 采用中心定位方法同时确认线型中心点和外点, 利用松弛技术标记内点。基于指纹图像在四个方向上的骨架分解, 每个方向的分解都可以消除其对偶方向(90°)的假纹线噪声, 并且保留其相邻方向细化线的信息, 在通过局域内线与线的整体关系, 对分解的图像进行综合以得到较理想的细化图像。实验表明此方法有效地消除了细化中的断点、毛刺、中心偏移等问题, 并且所得的细化线需要较少的细化后处理。处理结果示于图 4。

Fig. 3　Original fingerprint image

Fig. 4　Binary image of the fingerprint of Fig. 3

纹理形式和纹理走向是指纹图像中的一个重要的模式特征。结合指纹的方向图可得到指纹纹理及其纹理走向的描述。这种描述可以有效地识别指纹纹理的形式。在区分指纹图像和其它图像、指纹图像的粗筛选以及指纹图像质量检验中都有广泛的应用,同时也是指纹自动识别系统不可缺少的组成部分。

3 指纹自动识别系统的软件工程框架

我们设计的指纹自动识别软件系统采用“金字塔”式分层次识别的方法,对不同区分度的指纹在不同层次上进行处理。该指纹自动识别系统的软件总体工程框架如下:

· 通过对指纹纹理的探测,识别指纹纹形的类别,从而对指纹图像进行粗筛选。

· 预处理过程采用增强算子使灰度朝两极分化,并使每个象素点带有前景图案的隶属度,结合像元的局部特性进行二值化处理。

· 指纹细化线的提取是基于局部纹线方向和图像的分解,细化线上的点带有骨架隶属度。

· 指纹特征的提取通过方向图、细化线等进行,对提取的特征依据其不同类别构造模糊特征平面,利用重心法解模糊判决得到特征集。

· 分类识别是依据特征平面的拓补结构,以欧氏距离给特征点之间的边赋权,以细节特征点的最小生成树作为分类模型,在树同构的意义下,最小生成树具有平移、旋转和仿射不变性。

4 实验结果

基于上述框架,我们编制了指纹自动识别软件,并利用长春光机所研制的活体指纹采集仪(包括图像采集卡)和计算机构成了一个指纹自动识别系统(见图2)。对大量指纹图像进行了预处理实验。结果表明,我们运用模式识别的理论处理指纹图像和自动识别指纹都获得了令人满意的效果。实验结果示于图3～图6。图3是原始采集的指纹,图4为二值化输出的图像,图5为细化处理的结果,图6是由特征点构成的最小生成树。

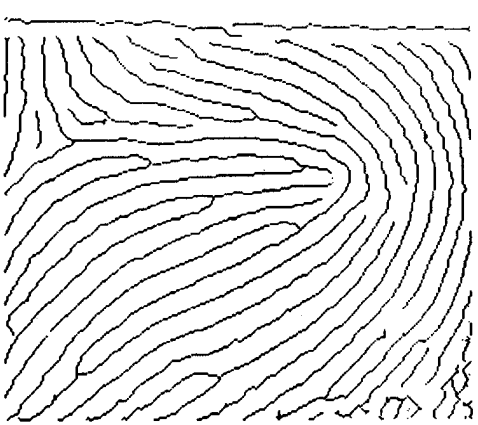

Fig. 5 Thinned image of the Fig. 4

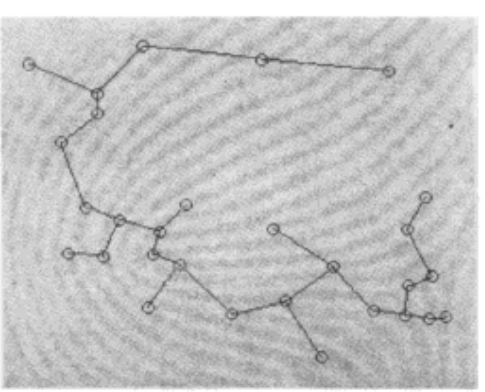

Fig. 6 The minimum tree created form the feature points of the fingerprint

5 结　束　语

指纹自动识别是模式识别领域中的一项综合性研究, 许多模式识别的典型思想、方法和技术都可以有效地用于提取指纹的模式特征。当然, 必须充分考虑指纹图像的特殊性, 并针对这种特殊性开发与指纹图像相适应的处理方法。

本文重点讨论的二值化算法和细化算法都具有这样的特点。在模式分类识别上, 传统的分类方法及线性分类器存在着一定的局限。本文提出的最小生成树模型, 在以拓补结构进行分类识别的道路上做了一定的尝试。在这一方向上, 寻求新的计算机视觉不变量的新的分类识别模型将是一项非常有潜力的工作。

参　考　文　献

1 Rosenfiled A, Kak A C. Digita image processing. New York: Academic Press, 1976

2 Boukharouba S, et al. An amplitude segmentation method based on distribution function of an image. 1985, 29: 47～59

3 Methre B M. Segmentation of fingerprint image using the directional image. Pattern Recognition, 1987, 20: 429～435

4 Marr D, Hildreth E C. Theory of edge detection. Proc R Soc. London B207, 1980: 128～217

5 丁明跃, 彭嘉雄. 基于内点保留的二值图像细化算法. 华中理工大学学报, 1994, (1)

6 Stefarelli R, Rosenfield A. Some parallel thinning algorithms for digital pictures. JACM, 1971, 18: 255～264

The Research on Applications of Pattern Recognition in Fingerprint Identifying

LU Ying, SONG Jian-Zhong

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130022)

Abstract

Automatic fingerprint identifying is a synthetic research work in the field of pattern recognition. In this paper, the applications in automatic fingerprint identifying of several important methods of pattern recognition theory are discussed, a frame of a practical system for automatic fingerprint identifying is proposed and the results of experiments are also shown.

Key words: Pattern recognition, Image pre-processing, Feature extracting, Automatic fingerprint identifying

陆　颖　男, 1962 年出生, 副教授, 现为中国科学院长春光机所博士研究生, 从事图像模式识别研究, 曾获吉林省教委科技进步一等奖, 参加多项国家、省部级研究项目, 出版著作一部, 发表论文 20 余篇。