

一种掌纹纹线结构特征的描述和匹配方法

王艳霞 阮秋琦

(北京交通大学信息科学研究所 北京 100044)

摘要: 掌纹的纹线结构特征明显, 稳定且具有足够的辨别信息。由于掌纹线很不规则, 很难用数学表达式的方式对其结构进行精确描述。该文提出一种新的用于掌纹识别的纹线结构特征描述和匹配方法。该方法应用改进的注水算法从二值的纹线图像上提取纹线的统计结构特征; 标记纹线方向, 提取纹线的方向结构特征; 将掌纹线的全局统计结构特征和局部细节方向结构特征整合为一个特征向量描述掌纹纹线的结构特征; 最后定义一个加权距离衡量不同纹线结构特征之间的相似度。实验表明, 该方法不仅具有较好的匹配性能, 而且可以获得较高的识别精度。

关键词: 掌纹识别; 结构特征; 注水算法

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)06-1281-05

A Method of Line Structure Features Representation and Matching of Palmprint

Wang Yan-xia Ruan Qiu-qi

(Institute of Information Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Palm line structure features are clear and stable, and they can uniquely describe a palmprint. Because the directions of palm lines are arbitrary and irregular, it is very difficult to accurately represent their structure features with an expression. This paper presents a new approach to line structure features representation and matching for palmprint recognition. It uses improved water-filling algorithm to extract the statistical structure features and direction structure features and label palm lines direction information from the extracted palm lines image. Finally, the extracted global statistical structure features and local detail direction structure features are combined as a feature vector, which is used in the next recognition. The experimental results show the method not only has a good property in matching, but also it can get a better accuracy.

Key words: Palmprint recognition; Structure feature; Water-filling algorithm

1 引言

掌纹识别技术是利用掌纹图像信息对个人身份进行识别的一种技术。与指纹, 虹膜, 人脸特征识别技术相比, 掌纹识别有着其独特的优点: 掌纹面积大, 细节多, 不易伪造, 即使损伤和残缺的掌纹也有足够的鉴别信息; 掌纹采集方法相对简单, 采集设备价格低廉, 且采集方式接受程度较高。因此掌纹识别很快就成为生物识别技术领域一种很有发展潜力的生物特征识别方法^[1]。

掌纹纹线是掌纹图像中最具有特色的特征, 而纹线的结构特征是纹线各种特征中最显著, 最稳定的特征。纹线的结构特征几乎不受光照, 噪声和手掌摆放位置的影响, 并且具有足够的判别信息, 因而非常适合用于掌纹识别。但是由于掌纹线结构的提取, 描述和匹配都比较困难, 所以用掌纹线结构进行身份鉴定的文献并不多。

在掌纹识别技术研究的早期, Duta^[2]用阈值的方法来获

得掌纹线图像, 并对其进行重采样获得掌纹线上 300 多个点, 利用这些点的位置和方向进行匹配。该方法并没有明确提取出掌纹线, 而是获取掌纹线上的若干特征点。由于只是利用这些点的坐标和方向表示掌纹线, 因此丢失了很多掌纹线的细节结构信息, 而且还需要大量的存储空间。Zhang 和 Shu^[3]用 12 个方向模板提取掌纹线, 并用直线段近似所提取的纹线, 最后用这些直线段对掌纹进行匹配。虽然这种方法简化地描述纹线结构, 并对其进行匹配, 也克服了 Duta 所提出的方法需要大量存储空间的弱点, 但它会受到掌纹线连接性的影响, 并且它同样也丢失了许多可区分掌纹的细结构信息, 无法分辨结构相似的掌纹。以上这两种方法都是为离线掌纹图像而设计的。

近年来, 随着计算机技术的发展, 在线掌纹识别技术受到广泛关注, 成为新的研究热点。由于在线掌纹图像是低对比度图像, 掌纹线的清晰度较离线掌纹图像差很多, 因此这些针对离线掌纹图像而设计的识别算法无法很好地应用于在线掌纹图像。Liu^[4]提出一个 Palm-line 探测器, 并且利用这个探测器直接从在线掌纹图像上提取出纹线, 并将提取的

2006-11-27 收到, 2007-07-30 改回

国家自然科学基金 (60472033 和 66067206) 和国家 973 计划 (2004 CB 318005) 资助课题

纹线与数据库内纹线进行逻辑与操作，通过纹线上点的匹配达到掌纹分类的目的。但这种方法提取的纹线是断裂的，而且识别率易受到掌纹的平移和旋转的影响。这是因为预处理虽然可以在很大程度上消除掌纹的平移和旋转，即使在匹配前进行一定调整，但仍然无法完全消除。邬向前^[5]提出线特征向量(LVF)算法描述掌纹的线特征，该方法利用纹线各点的剃度大小和方向构造特征向量，并用互系数衡量不同线特征实力的相似性。但是，该方法没有足够重视纹线的交叉点，交叉点对于纹线的结构特征是一个很重要的特征。为了解决以上问题，本文提出利用改进的注水算法从掌纹纹线图像上提取纹线的全局统计结构特征和局部方向结构特征描述掌纹纹线。

2 基于改进的注水算法的掌纹识别方法

2.1 注水算法

注水 (Water-Filling, WF) 算法是由 Zhou^[6]提出的一种基于图像内容检索的方法。该算法的命名源于 Zhou 将连通的边缘视为一些连通的管道，遍历边缘的过程视为注水所有管道的过程的模拟。其基本思想是从图像的边缘映射中提取图像的特征。它无需边缘连接和形状描述，而是使用简单而有效的图遍历(graph traverse)^[7]算法找寻度量边缘长度，边缘结构和边缘复杂性的一些测度，用这些特征构成一个特征向量实现图像分类和检索。

在一幅二值边缘图像中，如果相邻两个边缘点的 X (或 Y)方向坐标之差为 0，而在 $Y(X)$ 方向坐标之差为 1，则这两个边缘点是 4-连通的。现假设：(1)在起点处有足够的水量；(2)各方向上水流速度相等；(3)水流仅在终点处或所有可能方向的点均被填充过时才停止。当水在填充管道(也就是遍历边缘)的过程中，需要记录一些重要的统计量：最大填充时间，水流分叉点数目，最大分叉点数和各种直方图统计等等。注水算法实现过程如下^[6]：

(1) 初始化。将所有边缘点标记为“未填充”， $WaterFronts=\{\}$ ， $MaxFillingTime=1$ ， $MaxForkCount=1$ ， $MaxWaterAmount=0$ 。

(2) 对于边缘图像上每个标记为“未填充”的点 P ：

(a) 当其被填充时，该点被标记为“已填充”， $FillingTime$ ， $FortCount$ 和 $WaterAmount$ 均为 1， $WaterFronts=\{P\}$ ；

(b) 对于集合 $WaterFronts$ 中每个未被标记为终点的像素点 q ，如果 q 有 m 个“未填充”的 4-连通像素点，则将他们放入集合 $WaterFronts$ ，并将他们的标记改为“已填充”， $FillingTime$ 的值加 1， $ForkCount$ 的值增加 $m-1$ ， $WaterAmount = WaterAmount+m$ ，并将 q 从集合 $WaterFronts$ 中删除，否则 q 点被标记为终点。

(c) 根据 $FillingTime$ ， $MaxForkCount$ 和 $MaxWaterAmount$ 的值更新 $MaxFilingTime$ ， $maxForkCount$ 和 $MaxWaterAmount$ 的值；更新 $FilingTime$ ， $ForkCount$ 和 $Water$

$Amount$ 的直方图。

当边缘图像上所有边缘点均被标记为“已填充”后，该算法结束。此时，可获得最大填充时间和关联分叉点数目 ($MaxFillingTime$ and associated $ForkCount$, $MFT\&FC$)，最大分叉点数和关联填充时间 ($MaxForkCount$ and associated $FillingTime$, $MFC\&FT$)等统计量。统计填充时间直方图($FillingTime$ Histogram, FTH)及其每柱的关联平均交叉点数(FC)和交叉点数直方图($ForkCount$ Histogram, FCH)及其每柱内关联平均填充时间(FT)。最后使用 $MFT\&FC$ ， $MFC\&FT$ ， FTH (7 柱)和 FCH (7 柱)，总共 18 个分量构成特征向量。

虽然可以用注水算法提取纹线统计结构特征描述纹线长度，复杂性，纹线长度分布和纹线复杂性分布，但是这些统计结构特征不足以描述掌纹纹线的全部结构信息，尤其是细节结构信息。因此我们提出一种改进的注水算法，即在填充过程中除记录重要的统计量之外，还要对纹线上的每个像素进行分类和标记方向信息。

2.2 改进注水算法

为了提取纹线结构特征，本文改进了注水算法。改进注水 (Improved Water-Filling, IWF) 算法的基本思想是在遍历纹线过程中，不仅记录一些全局的统计量，如纹线长度，分叉点数目，而且对纹线上每个像素点根据其方向进行归类并编号，即标记为方向数。随后将标记的方向数进行分块编码，提取纹线局部细节结构特征。最后将全局统计量和分块方向特征整合为一个大的特征向量用于掌纹识别。利用改进注水算法提取全局统计结构特征，除了纹线点方向定义是 8-连通的之外，与注水算法无异，这里主要讲述改进注水算法在遍历纹线过程中标记纹线上的每个点的方向数的定义。纹线上任意一点的方向数($DirNum$)，是根据与该点连通的纹线点的方向定义的，其定义如下：

$$DirNum = \begin{cases} 2, & \text{仅在1个方向上有连通的纹线点,} \\ & \text{且位于该点水平方向上 (水平方向纹线点)} \\ 3, & \text{仅在1个方向上有连通的纹线点,} \\ & \text{且位于该点竖直方向上 (竖直方向纹线点)} \\ 4, & \text{仅在1个方向上有连通的纹线点,} \\ & \text{且位于该点右对角线方向上 (右对角线方向纹线点)} \\ 5, & \text{仅在1个方向上有连通的纹线点,} \\ & \text{且位于该点左对角线方向上 (左对角线方向纹线点)} \\ 6, & \text{在2个方向上有连通的纹线点 (二叉交叉点),} \\ 7, & \text{在3个方向上有连通的纹线点 (三叉交叉点)} \\ 8, & \text{在4个方向上有连通的纹线点 (四叉交叉点)} \end{cases} \quad (1)$$

图 1 显示应用以上定义为纹线上的每个点标记其方向数的示例。

参考线转至竖直方向以保证所有掌纹图像位于同一方向。在校准后的掌纹图像上, 利用 3 个关键点 $k1', k2'$ 和 $k3'$ 的坐标确定手掌近似内切圆及其圆心, 并以该圆心为中心的邻域内像素为可能手掌最大内切圆圆心, 在小范围内搜索并确定手掌的最大内切圆。最终提取该内切圆的内接正方形区域的心子图为掌纹图像, 并实现掌纹图像归一化, 如图 3 所示。

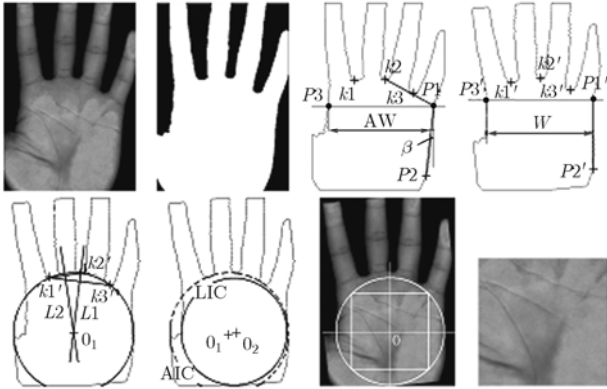


图 3 手掌图像定位及中心子图提取过程示意图

纹线提取是基于在线掌纹识别技术的核心技术之一, 它直接影响识别的准确率。本论文采用文献[7]提出两段式纹线提取算法。该算法包括全局滤波和局部滤波两个阶段。该方法根据纹线方向不一且多变, 在第 1 阶段中, 使用多个任意方向可调滤波器对输入的掌纹图像进行粗线条的滤波, 然后合成各个方向上阈值化后的滤波结果, 提取出大部分的纹线, 最后通过形态学的开运算和闭运算操作去结果中的噪声和纹线上的毛刺。第 1 阶段的输出结果中包含了大部分的纹线, 但这些纹线是不连续的, 不完整的。所以在第 2 个阶段, 我们利用形态学的击中击不中变换检测断裂纹线的端点, 并以这些端点为中心点, 确定搜索区域, 降低域值更进一步地提取遗漏的纹线, 最后仍然采用形态学操作去除噪声和纹线上的多余毛刺, 这个过程重复 3 次, 以确保纹线的完整性和连续性。图 4 显示了该数据库中的任意两幅掌纹图像, 经过预

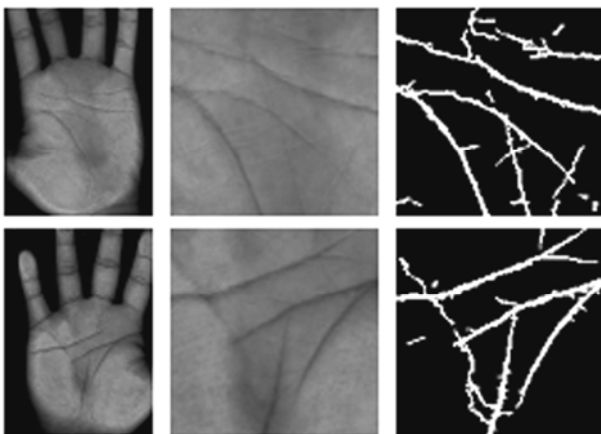


图 4 数据库中两幅掌纹图像及其纹线图像

处理后所截取掌纹中心图像和使用该方法提取的纹线图像。

3.3 掌纹匹配

为了测试 IWF 算法的掌纹匹配性能, 将我们掌纹库中每个样本和其余样本进行匹配。经过 $1600 \times 1599 = 2558400$ 次匹配, 其中有 1440 次是合法匹配, 其余的为非法匹配。合法匹配和非法匹配的匹配距离分布曲线如图 5 所示。由图 5 可以看出合法匹配的匹配距离主要集中在 21 附近的波峰, 而非法匹配的匹配距离集中于 70 左右的波峰。这两个距离相距很远, 而且两曲线的相交部分较少。所以, IWF 算法可以有效地对掌纹进行匹配。

图 5 合法匹配和非法匹配的匹配距离分布为了测试 IWF 算法在验证中的性能, 我们同样用库中的每一个样本都和其余的样本进行匹配, 根据合法匹配和非法匹配的匹配距离分布情况, 选取不同的阈值 $T(T \in [30, 60])$, 从而得到 ROC 曲线。IWF 算法与郭向前提出的 LFV 方法^[5]和 Liu^[4]的 Palm-detector 方法的 ROC 曲线如图 6 所示, 它们的等错误率分别为 0.32%, 0.43% 和 0.61%, IWF 算法的等错误率比 Palm-detector 方法小 0.29%。从图 6 中还可以看出, 虽然部分 LFV 算法的 ROC 曲线与 IWF 算法的 ROC 曲线比较接近, 但是 IWF 算法的 ROC 曲线整体上都位于 LFV 算法和 Palm-detector 方法的曲线之下, 这说明 IWF 算法可以获得比 LFV 算法和 Palm-detector 方法高的识别精度。

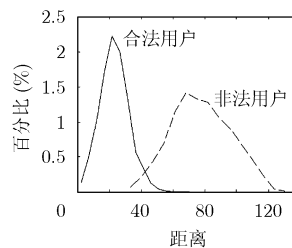


图 5 合法匹配和非法匹配的匹配距离分布

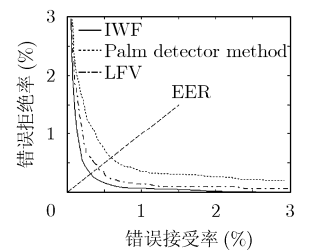


图 6 IWF 算法和 Palm-detector 方法的 ROC 曲线

4 结束语

掌纹纹线特征是掌纹的一种重要特征, 它稳定可靠, 带有很强的判别信息。本文将纹线视为水流通道, 利用改进注水算法遍历纹线上的每个点。在遍历过程中, 不仅统计纹线点的总量和纹线分叉点的个数等统计量, 而且为每个纹线点标记方向数; 然后, 将纹线图像的方向数矩阵划分为同样大小, 互不重叠的矩形区域, 利用方向数为每块图像矩阵创建局部结构特征向量; 最后将两个统计量与依次排列的局部结构特征向量组合成掌纹纹线结构特征向量, 并利用本文所定义的加权距离衡量不同纹线结构特征之间的相似度。实验结果表明, IWF 算法不仅具有较好的匹配性能, 而且在掌纹识

别中也取得了较高的识别精度。

参 考 文 献

- [1] Zhang D, Kong W K, You J, and Wong M. Online palmprint identification. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(9): 1041-1050.
 - [2] Duta N, Jain A K, and Dubuisson-Jolly M P. Learning 2D Shape models. Proceedings of Int. Conf. On Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Colombia: Fort Collins, 1999, II: 8-14.
 - [3] Zhang D and Shu W. Two novel characteristics in palmprint verification: Datum point invariance and line feature matching. *Pattern Recognition*, 1999, 33(4): 691-702.
 - [4] Liu L and Zhang D. Palm-line detection. Proceedings of Int. Conf. on Image Processing, Genova, Italy, 2005, III: 269-272.
 - [5] 郭向前, 王宽全, 张大鹏. 一种用于掌纹识别的线特征表示和匹配方法. *软件学报*, 2004, 15(6): 869-880.
 - [6] Wu, X Q, Wang K Q, and Zhang D. Approach to line feature representation and matching for palmprint recognition, *Journal of Software*, 2004, 15(6): 869-880.
 - [7] Zhou X S, Yong R, and Huang T S. Water-filling: a novel way for image structural feature extraction. Proceedings of Int. Conf. on Image Processing, Kobe, Japan, 1999, II: 570-574.
 - [7] 傅清祥, 王晓东. 算法与数据结构(第一版). 北京: 电子工业出版社, 1998: 281-284.
 - Fu Q X and Wang X D. Algorithm and data structures (1st Edit). Beijing: Electronic Industry Publishing Company, 1998: 281-284.
- 王艳霞: 女, 1977 年生, 博士生, 研究方向为生物特征识别技术、图像处理等.
- 阮秋琦: 男, 1944 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为数字图像处理、生物特征识别等.