

基于二值化指纹图像细节点提取的改进算法^①

赵磊^{1,2}, 姜小奇^{1,2}, 蒋澎涛¹, 刘春雷¹, 陈宏君¹, 杨梦婷¹

¹(湖南科技经贸职业学院 计算机科学技术学院, 衡阳 421001)

²(衡阳师范学院 计算机科学系, 衡阳 421008)

摘要: 深入研究了二值化指纹图像细节点提取算法, 针对已有算法中存在伪细节点和遗漏细节点的问题, 提出了一种改进的二值化指纹图像细节点提取算法。该算法在原有提取算法的基础上, 采用了形式分割图段、结合纹线方向提取、合并图段等措施。大量实验表明, 该算法显著地减少了伪细节点和遗漏细节点的出现, 是一种较为理想的二值化指纹图像细节点提取算法。

关键词: 二值化指纹图像; 细节点; 行程; 图段

Improved Minutiae Extraction Algorithm Based on Binary Fingerprint Image

ZHAO Lei^{1,2}, JIANG Xiao-Qi^{1,2}, JIANG Peng-Tao¹, LIU Chun-Lei¹, CHEN Hong-Jun¹, YANG Meng-Ting¹

¹(Institute of Computer Science, Hunan Technology Trade Vocational College, Hengyang 421001, China)

²(Institute of Computer Science, Hengyang Normal University, Hengyang 421008, China)

Abstract: Inutiae extraction on binary fingerprint images is studied deeply in this article. For used minutiae extraction algorithm, there exist some false minutiae and omitted minutiae. A new improved minutiae extraction algorithm is proposed to solve the problem. The algorithm divides image segment, extracts minutiae with direction and merge image segment. Through lots of experiments, the algorithm has been proved to a better minutiae extraction algorithm which can significantly reduce false minutiae and omitted minutiae in the extracting process.

Key words: binary fingerprint image; minutiae; run-length code; image segment

1 引言

指纹图像细节点的提取是自动指纹识别研究的核心技术之一^[1], 目前指纹图像细节点提取方法主要采用的是基于细化图像的细节点提取方法^[2,3], 该方法首先预处理指纹图像, 对指纹图像进行增强, 然后将预处理后的指纹图像二值化, 再将二值化后的指纹图像进行细化及细化后处理, 细节点的提取在细化后的指纹图像上进行。基于细化图像的细节点提取方法优点是提取精度较高, 稳定性较好, 但存在预处理步骤复杂, 处理时间长, 效率较低的问题。有一些研究人员提出了基于灰度图像的细节点提取方法^[5,6], 这种方法直接在进行了部分预处理后的灰度图像上提取细节点。虽然这种方法的提取速度很快。但是在精确提取细节点位置和类型时会出现一些问题, 尤其当图像质

量不太好时问题更加严重。因此, 近年来有研究人员提出了基于二值化指纹图像的细节点提取方法^[4], 这种方法相对于基于细化图像的细节点提取方法减少了部分预处理的环节, 缩短了处理时间, 同时比基于灰度图像的提取方法精度更高。但是文献[4]的基于二值化指纹图像的特征提取算法存在伪细节点和遗漏细节点等问题, 从而对指纹匹配的精度造成影响。本文在文献[4]的基础上提出了一种基于二值化指纹图像细节点提取的改进算法, 实验表明, 该改进算法很好地弥补了文献[4]算法的缺陷, 保证了特征提取和识别的准确性。

2 二值化指纹图像细节点提取算法

傅景广等在文献[4]提出了一种基于二值化指纹图

① 基金项目:湖南省高等学校科学研究项目(10C0172);湖南省高等学校科学研究项目(09C1185);衡阳师范学院青年科学基金(09A39)

收稿时间:2011-07-08;收到修改稿时间:2011-09-23

像细节节点提取算法,该算法首先定义了几个基本概念。

2.2.1 行程

在图像的某一行水平扫描线上,由多个连续的、具有相同灰度值的像素所组成的像素点集合称为一个行程,用行程码记录表示,对于二值图像有两种行程:黑色行程和白色行程。如下图 1 有 a 到 f 共 6 个黑色行程。

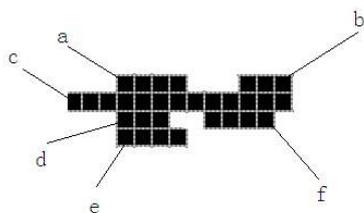


图 1 行程及其相关关系

2.2.2 行程码

由一个行程的起始和结束点水平坐标构成的二元组称为行程码,用 (S, E) 表示,其中 S 表示行程的起始坐标, E 代表行程的终止坐标。

2.2.3 行程相关

设 (S_1, E_1) 和 (S_2, E_2) 为分属相邻两个扫描行中的两个行程,如果 $S_2 > E_1$ 或 $E_2 < S_1$,则称这两个行程不相关,反之称这两个行程相关。判断行程相关与否的过程为行程匹配。相邻两个扫描行中的行程之间只存在以下两种相关关系:

① 某一行中的一个行程与另一行中的惟一一个行程相关,称之为**一对一相关**,图 1 中的行程 d 和行程 e 为一对一相关。

② 某一行中的一个行程与另一行中的多个行程同时相关,称之为**一对多相关**。如图 1 中的行程 c 同时与行程 a, b 相关。

2.2.4 图段

由一系列互为**一对一相关**的行程所组成的集合称为图段。

整个算法分为获得图段、图段结构分析和端点位置判定三个部分

(1) 获得图段

该算法获得二值化图像中所有图段,对指纹图像进行水平扫描,通过行程匹配可以得到指纹图像中所有的黑色图段和白色图段,其中黑色图段代表局部纹线段,白色图段代表局部谷线段,算法描述如下:

① 对图像第 1 行中的每一个黑色行程,以它们为起始行程生成若干初始图段;

② 逐步扫描图像,得到的当前黑色行程与所有已生成的黑色图段中的最后一个行程进行匹配,如果当前行程与某个图段的最后行程互为**一对一相关**,则当前行程属于此图段,将其加入此图段中,否则以当前行程为起始行程生成新的图段。

③ 对某个图段中相邻行程之间的长度相差较大(例如相差 3 倍),则在这两个相邻行程处将该图段分割成两个图段。

(2) 图段结构分析

该算法对上一阶段得到的图段结构形式进行分析,先计算出图段的几何参数:图段包络矩形宽度 W 和高度 H ,构成图段的行程的平均长度 L ,以及针对不同指纹的垂直方向图段中最大的 L 值 RW_{max} ,最小的 L 值 RW_{min} 。

根据以上参数,图段可细分为:

① **噪声图段**。判断条件 $W < RW_{max}$ 且 $H < RW_{max}$; 或者 $L < (1/2) RW_{min}$ 。

② **垂直方向图段**。判断条件 $H \geq W$ 。

③ **水平方向图段**。判断条件 $H < W$ 。

④ **扁长型图段**。判断条件 $H \leq RW_{max}$, 且 $L > RW_{max}$ 。

⑤ **弧顶、弧底图段**。

(3) 端点位置判定

首先明确两个概念:

① **上相关图段**:所有最后一个行程与指定图段的第一个行程相关的图段,称为指定图段的上相关图段。

② **下相关图段**:所有第一个行程与指定图段的最后一个行程相关的图段,称为指定图段的下相关图段。

算法描述如下:

① 扫描所有图段结构,去除所有噪声图段;

② 扫描所有图段结构,根据图段的结构类型、是否存在相关图段及其与相关图段的相对位置关系,给出以下端点判定规则,根据规则得到相应的纹线端点。

规则 1.如果当前图段为扁长型图段,且其上下相关图段位于其一侧,则其另一端为纹线端点。

规则 2.如果当前图段为扁长型图段,且其没有任何相关图段,则其两侧均为纹线端点。

规则 3.如果当前图段没有上相关图段,且该图段不是弧顶图段,则该图段的上端为纹线端点。

规则 4. 如果当前图段没有下相关图段, 且该图段不是弧底图段, 则该图段的下端为纹线端点。

规则 5. 对于扁长和水平方向图段上的纹线端点, 其位置坐标取整个图段中最左或最右端的像素点的位置坐标。

规则 6. 对于垂直方向图段, 如果其上端为纹线端点, 则取该图段第 1 个行程的中点为端点的位置坐标, 如果其下端为纹线端点, 则取该图段最后一个行程的中点为端点位置坐标。

(3) 按上面的算法求出白色行程的端点, 该端点即为指纹图像的分叉细节点。

3 算法不足分析及改进策略

文献[4]算法在获取图段的时候, 为了尽量使每一个图段都是一个没有分支的线性结构, 对图段进行分割, 分割方法是如果图段中相邻行程之间的长度相差较大(例如相差 3 倍), 则在这两个相邻行程处将该图段分割成两个图段。在下图 2(a)中的纹线由于有一处相邻行程之间的长度相差较大, 文献[4]算法将这两个相邻行程分割, 形成图 2(b)中图段 a 和图段 b 两个图段。在分割前图 2(a)中的纹线整个是一个图段, 并且是垂直图段(满足垂直图段条件), 根据规则 3, 上端的细节点在第一个行程的中点处如图 2(a)中所示。而实际上我们认为细节点应在纹线最左边像素的位置, 文献[4]算法提取细节点的位置有误。在分割后图 2(b)中, 根据文献[4]算法此纹线的细节点从 1 个变为 3 个, 图段 a 的左右两端各有 1 个细节点, 图段 b 的上端有 1 个细节点, 多出了两个细节点。其实真正的细节点应是图段 a 左端的细节点, 其余两个细节点都是伪细节点, 是因为先前的一个图段被分割成两个图段而伴随产生的。如果对纹线的分割是形式上的分割, 即分割后的纹线还是如图 2(a)所示, 通过相关标志标识纹线被分割。那么根据规则 3 图段 a 没有上相关图段, 但是弧顶图段而没有细节点, 从而遗漏了纹线左端的细节点。不管文献[4]算法对纹线是实际上的分割还是形式上的分割(文献[4]中并没有表明), 真正的细节点图段 a 的左边端点并没有被提取。对于类似的这种情况, 经过反复实验, 我们认为纹线分割应采取形式上的分割, 而端点提取规则需要进行改变, 上图 2(b)中的纹线分割后, 图段 b 与图段 a 的相关关系应为右下相关, 而不是笼统的下相关, 图段 a 属于水平图段, 有右下相

关的水平图段最左端像素应为它的一个端点。

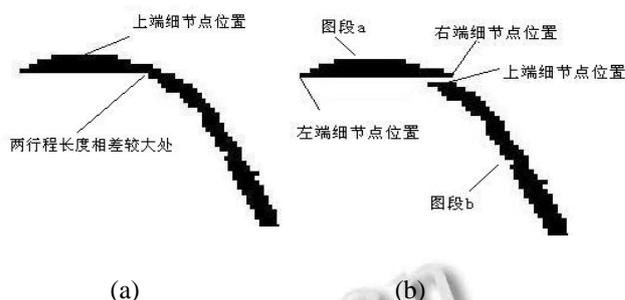


图 2 图段分割示例

在对于规则 3 和规则 4 进行实验时我们发现, 这两个规则在提取纹线端点时没有判断图段的相关类型, 从而造成细节点位置提取不准确, 产生伪细节点。如下图 3 所示。

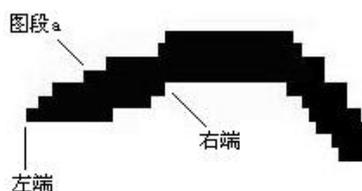


图 3 根据方向判断端点示例

在图 3 中的图段 a 满足规则 4 “没有下相关图段, 且该图段不是弧底图段” 的条件, 故取纹线的下端为端点。但是在提取端点时我们无法确定端点的具体位置, 因为图段 a 根据算法[1]的概念属于水平图段, 根据规则 5 水平图段的端点位置坐标应取整个图段中最左或最右端的像素点的坐标。而该图段的端点是取最左还是取最右像素点坐标需要根据图段的方向来进行判断。所以在取这类图段的端点时, 先要判断图段的类型和方向, 如果是水平图段, 方向在 0 度到 45 度之间取图段中的最左端为端点的位置坐标; 方向在 -45 度到 0 度之间的水平图段取图段中的最右端为端点的位置坐标。图 3 中图段 b 的方向是在 0 度到 45 度之间, 故应取最左端为端点。

在实验中我们还发现有很多类似于图 4 所示的纹线, 该纹线共有四个图段, 上面四行黑色行程组成图段 a, 图段 a 下面左边的由 9 个黑色像素点组成的一个黑色行程为图段 b, 中间有 6 个黑色像素组成的一个黑色行程为图段 c, 图段 a 下面右边的若干黑色行程组

成图段 d。这种纹线根据人为判断纹线的左端为一个端点。但是根据文献[4]的算法,图段 a 为扁长图段,由于它下方左右两侧都有相关图段,所以该图段被判断为左右两端都没有端点,和人为判断的实际结果不一致。原因在于图 2 中的图段 b 和 c 的存在,使图段 a 左侧也有相关图段。由于图段 b 和 c 不满足文献[4]中噪声图段的条件,没有被认为是噪声图段而去除掉,造成在提取细节时遗漏了纹线左边的端点这个细节。对于这种本应属于噪声图段但并没有被去除的情况,我们采用图段的合并算法进行处理:对于一个图段与一个或多个图段相关,而相关的图段中的有些图段的行程数量很少,则将行程数量很少的相关图段与该图段合并成为一个图段。在图 2 中的图段 b 和图段 c 与图段 a 合并成一个图段,从而避免了噪声图段对细节节点提取的影响。

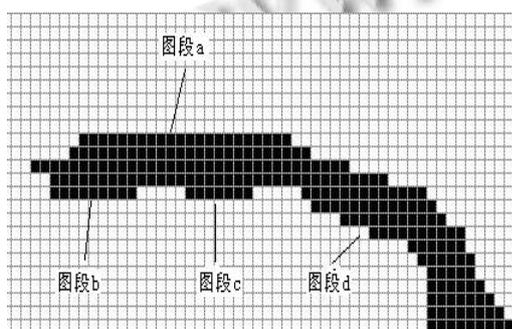


图 4 剩余噪声图段示例

4 二值化指纹图像细节点提取改进算法

针对文献[4]算法存在的不足,我们做了大量的实验,通过对实验结果的分析 and 总结,本文在文献[4]算法的基础上,提出了一种改进的二值化指纹图像细节点提取算法。整个算法使用了文献[4]中的行程、行程码、行程相关和图段基本概念,在获取图段的分割图段环节采用的是形式上的分割,在图段结构分析中我们把扁长型图段归为水平图段并摒弃了弧顶、弧底图段,相关内容不再赘述。本文主要改进的是图段相关位置判定和端点位置判定算法。算法描述如下:

(1) 从上往下扫描所有图段结构,去除所有噪声图段。

(2) 从上往下扫描所有图段结构,给出相关图段相对位置关系的判断规则:

规则 1: 如果图段 a 最后一个行程的终止坐标大于图段 b 第一个行程的起始坐标,小于图段 b 第一个行程长度的 2/3 处坐标,则称图段 a 是图段 b 的左上

相关图段。

规则 2: 如果图段 a 最后一个行程的起始坐标小于图段 b 第一个行程的终止坐标,大于图段 b 第一个行程长度的 1/3 处坐标,则称图段 a 是图段 b 的右上相关图段。

规则 3: 如果图段 a 第一个行程的终止坐标大于图段 b 最后一个行程的起始坐标,小于图段 b 最后一个行程长度的 2/3 处坐标,则称图段 a 是图段 b 的左下相关图段。

规则 4: 如果图段 a 第一个行程的起始坐标小于图段 b 最后一个行程的终止坐标,大于图段 b 最后一个行程长度的 1/3 处坐标,则称图段 a 是图段 b 的右下相关图段。

规则 5: 对于不满足上述规则但又相关的两个图段我们认为这两个图段上相关或下相关,而不再区分左侧或右侧。

(3) 从上往下扫描所有图段结构,对于行程数量少于等于 3 的图段如果其上方有相关图段则与上方图段合并成一个图段,否则如果其下方有相关图段则与下方的相关图段合并成一个图段。

(4) 求图段纹线方向。方法如下:取该图段第一个行程的中点与该图段其余每个行程的中点求方向角度,然后取所有方向角度的均值为最后的纹线方向。

(5) 根据步骤(2)得到的相关图段的相对位置关系,给出端点判定规则,根据规则得到相应的纹线端点。

规则 1: 如果当前图段没有任何相关图段,水平方向图段取左端和右端为纹线端点,垂直方向图段取上端和下端为纹线端点。

规则 2: 如果当前图段只有左上相关图段,水平方向图段取右端为纹线端点,垂直方向图段取下端为纹线端点。

规则 3: 如果当前图段只有右上相关图段,水平方向图段取左端为纹线端点,垂直方向图段取下端为纹线端点。

规则 4: 如果当前图段左右上方都有相关图段,方向在 0 度到 45 度之间的水平方向图段取则取图段中的左端为纹线端点,方向在 -45 度到 0 度之间的水平方向图段取则取图段中的右端为纹线端点,垂直方向图段取下端为纹线端点。

规则 5: 如果当前图段只有左下相关图段,水平

方向图段取右端为纹线端点，垂直方向图段取上端为纹线端点。

规则 6：如果当前图段只有右下相关图段，水平方向图段取左端为纹线端点，垂直方向图段取上端为纹线端点。

规则 7：如果当前图段左右下方都有相关图段，方向在-45 度到 0 度之间的水平方向图段取则取图段中的左端为纹线端点，方向在 0 度到 45 度之间的水平方向图段取则取图段中的右端为纹线端点，垂直方向图段取上端为纹线端点。

规则 8：如果当前图段左上和左下方都有相关图段，水平方向图段取右端为纹线端点，垂直方向图段无纹线端点。

规则 9：如果当前图段右上和右下方都有相关图段，水平方向图段取左端为纹线端点，垂直方向图段无纹线端点。

规则 10：对于水平方向图段上左端或右段的纹线端点，其位置坐标取整个图段中最左或最右端的像素点的坐标。

规则 11：对于垂直方向图段，如果其上端为纹线端点，则取该图段第 1 个行程的中点为端点的位置坐标，如果其下端为纹线端点，则取该图段最后一个行程的中点为端点位置坐标。

(6) 按上面的算法求出白色行程的端点，该端点即为指纹图像的分叉细节点。

5 实验结果与分析

为了比较文献[4]算法和本文的改进算法，本文在赛扬双核 2.8G、1G 内存的计算机上选取了 Secugen 指纹采集器采集的多幅指纹图像进行实验，每个指纹图像经过归一化、图像增强、二值化等处理过程，用文献[4]算法和本文的改进算法分别对二值化后的指纹图像进行特征提取，部分实验结果如图 5 所示。图 5(a) 是二值化图像，(b) 是文献[4]算法提取细节点结果，(c) 是本文改进算法提取细节点结果。其中矩形框中心代表细节点位置。我们人为地对两种算法提取细节点后存在的伪细节点和遗漏细节点进行统计，对于图 5(b)，文献[4]算法共提取了细节点 40 个（其中端点 25 个，分叉点 15 个，边缘端点被舍弃），其中遗漏细节点 6 个，伪细节点 4 个，对于图 5(c) 本文改进算法共提取了细节点 42 个（其中端点 27 个，分叉点 15 个），其

中遗漏细节点 1 个，伪细节点 1 个。表 1 列出了对 5 幅不同质量的指纹图像进行实验后，指纹图像存在的伪细节点和遗漏细节点情况。由表 1 可见，相对于文献[4]算法，本文改进算法中存在的伪细节点和遗漏细节点有了明显的减少。



图 5 实验结果两种二值化指纹图像细节点提取算法比较

(下转第 159 页)

5 结语

本文基于数字电影放映场次的时空相关性预测不同院线不同时期的放映场次。通过预测辅助院线的选取,为预测模型的建立增加空间相关数据;通过构造时空序列的方式将相关数据的时间属性、空间属性有机地结合起来,并借助 BP 神经网络得到预测模型。选取预测辅助院线时,本文采用改进的最邻近法,通过聚类预处理,在保证选择对象的时空相关性和选择完整性的前提下,避免了传统最邻近法中盲目搜索的问题。实验表明,本文方法的预测相对误差平均比传统时间序列预测法减少了大约 1/2,提高了预测精度。

参考文献

- 1 师瑞峰,周一民.基于数据挖掘的人口数据预测模型综述.计算机工程与应用,2008,44(9):1-6.
- 2 王婷婷,钱晓东.时间序列的非线性趋势预测及应用综述.计算机工程与设计,2010,31(7):1545-1549.
- 3 汪成亮,张硕果.通过确定邻近区域改进 KNN 文本分类.计算机系统应用,2009,18(11):56-58.
- 4 Eamonn JK, Michael JP. An enhanced representation of time series which allows fast and accurate classification, clustering and relevance feedback. Proc. of the 4th International Conference on Knowledge Discovery and Data, 1998: 239-241.
- 5 马骊溟,徐毅,李泽湘.基于动态网络划分的散乱点 k 邻近快速搜索算法.计算机工程,2008,34(8):10-11.
- 6 Wang W, Li X, Wang C. River water level forecast based on spatio-temporal series model and RBF neural network. 2nd International Conference on Information Science and Engineering. 2010: 6891.
- 7 王建军,徐宗本.多元多项式函数的三层前向神经网络逼近方法.计算机学报,2009,32(12):2482-2488.
- 8 Hornik K, Stinchcombe M, White H. Universal approximation using feedforward networks with non-sigmoid hidden layer activation functions. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 1989:613.
- 9 刘卫宁,王鹏,孙棣华等.基于改进 BP 神经网络的道路交通事故预测.计算机系统应用,2010,19(10):177-181.

(上接第 236 页)

表 1 2 种算法提取的细节点、伪细节点和遗漏细节点比较

	文献[4]算法			本文改进算法		
	细节点	遗漏细	伪细节	细节点	遗漏细	伪细节
	总数 (个)	节点数 (个)	点数 (个)	总数 (个)	节点数 (个)	点数 (个)
图像 1	39	6	4	42	1	1
图像 2	25	4	2	27	0	0
图像 3	54	10	7	56	3	2
图像 4	46	9	5	49	2	1
图像 5	36	6	4	39	0	1

6 总结

本文针对文献[4]算法提取细节点后存在遗漏细节点和伪细节点的不足,在原有二值化图像提取算法的基础上提出了一种改进的提取算法。该算法通过采用形式分割图段、结合纹线方向提取、合并图段等措施,减少了伪细节点和遗漏细节点的出现。实验证明,该算法能显著地减少二值化指纹图像提取细节点过程中出现伪细节点和遗漏细节点的情况,从而提高特征提

取的准确性,是一种较为实用的二值化指纹图像细节点提取算法。

参考文献

- 1 田捷,陈新建,张阳阳,等.指纹识别技术的新进展.自然科学进展,2006,16(4):400-408.
- 2 Jain A, Hong L, Pankanti S, Bolle R. An identity-authentication system using fingerprint. Proc. of IEEE, 1997,85(9).
- 3 Jain A. On-Line fingerprint verification. IEEE Trans. PAMI, 1997,19(4):302-324.
- 4 傅景广,许刚,王裕国.基于二值图像的指纹细节点提取.计算机研究与发展,2004,41(4):720-727.
- 5 Jiang XD, Yau WY. Detecting the Fingerprint minutiae by adaptive tracting the gray-level ridge. Pattern Recognition, 2001,34: 999-1023.
- 6 Maio D, Maltoni D. Direct gray-scale minutiae detection in the fingerprints. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997,19(1).