

基于方向图的指纹图像预处理算法

陈立潮¹, 王 宇¹, 刘 佳¹, 张 伟¹, 张 力²

(1. 太原科技大学 计算机科学与技术学院, 山西 太原 030024;

2. 中国船舶重工集团公司 第七二二研究所, 湖北 武汉 430079)

摘 要: 指纹图像具有方向性强的特点。为了很好地保持和恢复指纹的纹线结构, 提高指纹图像预处理算法的抗噪能力, 提出了一套基于方向图的指纹图像预处理算法, 对传统的方向图计算方法进行了改进, 加入了噪声检测功能, 得到了更为精确的点方向图, 并利用指纹图像的方向信息进行分割、滤波去噪、二值化, 最后细化得到了效果比较理想的指纹点线图。实验证明, 文中所述的预处理算法能够有效地保持和恢复指纹图像的纹线结构, 对各种噪声干扰具有较强的鲁棒性。

关键词: 指纹; 预处理; 方向图; 图像分割; 二值化

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2007)09-0085-03

Preprocessing of Fingerprint Image Based on Orientation Map

CHEN Li-chao¹, WANG Yu¹, LIU Jia¹, ZHANG Wei¹, ZHANG Li²

(1. Institute of Computer Sci. and Tech., Taiyuan Univ. of Sci. and Tech., Taiyuan 030024, China;

2. 722nd Research Institute of CSIC, Wuhan 430079, China)

Abstract: The fingerprint image has a characteristic of obvious orientation. To keep this characteristic steady and strengthen the robustness of fingerprint - preprocessing, a combinational algorithm based on orientation is proposed for fingerprint - preprocessing. In this paper, an improved method for the computation of fingerprint orientation map is suggested, which has an ability of noise detection. This preprocessing algorithm is composed of directional image computation, image segmentation, filtering, binarization and thinning. The experiment results show that, this algorithm is more robust to noise.

Key words: fingerprint; preprocessing; orientation map; image segmentation; binarization

0 引 言

指纹识别技术是一种使用最早, 也最为成熟的生物测定学技术, 一套完整的指纹识别系统包括指纹图像预处理、指纹特征提取、特征匹配三大模块。预处理是指纹识别系统中最重要的一步, 预处理输出结果的好坏直接影响着指纹识别的效果, 其目的就是利用图像处理技术除去图像中的各种噪声干扰, 把它变成一幅清晰的指纹点线图, 增强图像的可识别性, 恢复指纹的纹线结构, 以便正确可靠地提取指纹特征^[1]。指纹预处理的一般工作过程如图1所示。

由于指纹图像具有方向性强的特点, 所以, 利用指纹的方向信息进行图像预处理, 能够收到更为理想的效果, 但前提是图像中的方向信息能准确地提取出来。为此, 笔者提出了一种改进的方向图计算方法, 得到了

更精确的指纹方向图, 并利用方向图对指纹图像进行分割、滤波、二值化, 获得了理想的预处理效果。

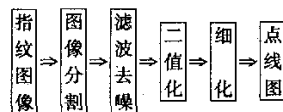


图1 指纹预处理过程

1 指纹方向图的计算

1.1 点方向图的计算

传统的指纹点方向图的计算是给每一个像素点赋予一个方向, 但同时也给噪声点赋予了方向, 给后面的图像分割带来了较大的影响, 容易将噪声区误判为前景区。因此, 给图像中的每个像素设置一个标志 F , 0 表示该点为噪声点, 其它值表示该点的方向值。

首先给每一像素逆时针设置 8 个方向, 每个方向夹角为 22.5° , 每个点的方向值用图2所示的 9×9 的模板进行掩模得到, 其中 P_{ij} 为指纹图像中第 i 行、第 j 列的像素, P_{dl} ($d=1, \dots, 8, l=0, \dots, 3$) 为以 P_{ij} 为中心,

收稿日期: 2006-11-19

基金项目: 山西省自然科学基金资助项目(200501044)

作者简介: 陈立潮(1961-), 男, 山西万荣人, 教授, 博士, 主要研究方向为模式识别、人工智能、数据挖掘。

第 d 方向的第 l 个像素^[2]。

$$D_d(i, j) = \sum_{l=0}^3 |\bar{f}_d - f_{dl}| \quad (1)$$

$$D_{d'}(i, j) = \sum_{l=0}^3 |\bar{f}_{d'} - f_{d'l}| \quad (2)$$

$D_d(i, j)$ 为像素点的方向值, $D_{d'}(i, j)$ 为垂直 d 方向的方向值, \bar{f}_d 和 $\bar{f}_{d'}$ 分别为 d 和 d' 方向的像素灰度均值, 这样对噪声具有一定的平滑作用, f_{dl} 和 $f_{d'l}$ 分别为像素 P_{dl} 和 $P_{d'l}$ 的灰度值。像素 $P(i, j)$ 的方向应该是 $D_d(i, j)$ 最小, 同时 $D_{d'}(i, j)$ 最大的 d 值。

$$\bar{D}(i, j) = \frac{1}{8} \sum_{d=1}^8 D_d(i, j) \quad (3)$$

$$V_D(i, j) = \frac{1}{8} \sum_{d=1}^8 |D_d(i, j) - \bar{D}(i, j)| \quad (4)$$

(3) 式和(4)式分别为 $D_d(i, j)$ 的均值和方差^[3]。

若 $V_D(i, j)$ 小于某个阈值 T_1 , 则认为 $P(i, j)$ 为噪声点, 并设置 F 为 0; 否则, 按照上文所描述的方法求其点方向, 并将 F 置为求得的方向 d 。

由于在一定的范围内, 指纹图像的噪声不能完全消除, 还需要在像素点的邻域内对噪声方向进行平滑, 最后得到准确的点方向图。设 $N(d)$ 为某一像素 8 邻域中方向为 d 的像素个数, $N(d)$ 的最大值定义为 $N(D_1)$, 次大值定义为 $N(D_2)$, $D(i, j)$ 是校正后的方向代码, 则按如下方法进行平滑:

$$\begin{cases} (D_1 + D_2)/2 = & 5 \leq N(D_1) \leq 8 \\ & (D_1 + D_2)/2 \quad 3 \leq N(D_1), \text{ 且 } N(D_2) \geq 2, \\ & \text{且 } N(D_1) - N(D_2) \leq 2 \\ D(i, j) & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

P_{70}	P_{60}		P_{50}		P_{40}		P_{30}
P_{80}	P_{71}	P_{61}	P_{51}	P_{41}	P_{31}		P_{20}
	P_{81}				P_{21}		
P_{13}	P_{12}		P_9		P_{11}		P_{10}
	P_{22}				P_{82}		
P_{23}	P_{32}	P_{42}	P_{52}	P_{62}	P_{72}		P_{83}
P_{33}	P_{43}		P_{53}		P_{63}		P_{73}

图 2 计算点方向图的模板

1.2 块方向图的计算

块方向图的计算方法有中值法、加权平均值法和直方图法, 在文中算法的实现过程中, 直方图法的效果比其它两种效果要好, 因此这里采用直方图法。

先将点方向图分成若干 8×8 的子块, 对任意一个子块, 先对该子块内的点方向图进行直方图统计, 选取方向数最大的一个方向作为该子块的区域方向。

$$N_i = \sum_{d=1}^8 (d = i) \quad (i = 1, \dots, 8) \quad (6)$$

$$N = \max\{N_i\} \quad (i = 1, \dots, 8) \quad (7)$$

式中: N_i 表示 8×8 子块内点方向为 i 的点数; d 为某一点的点方向; N 为该子块的最大点方向数。

2 指纹图像分割

常见的指纹图像分割方法有两种: 一种是基于图像灰度特性的分割(方差法), 另一种是利用图像方向信息进行分割(方向图法)。方差法适合于非指纹区的分割, 对于灰度变化较小的指纹区, 方差法容易误判为背景区, 如图 3(b) 所示。而方向图法则对指纹区的分割效果比较好, 对背景区的分割不太理想, 如图 3(c) 所示。因此, 将方向图法和方差法有机地结合起来^[4], 再利用简单阈值法去除边缘效应, 可以得到比较理想的分割效果, 其具体的算法描述如下:



图 3 指纹图像分割结果

令 $Z(i, j)$ 表示指纹图像内各块的灰度方差值;

$g(i, j)$ 表示指纹图像内各像素点的灰度值;

$A(i, j)$ 表示用方向图法分割后的指纹图像中各点的灰度;

$B(i, j)$ 表示用方差法分割后的指纹图像中各点的灰度值;

$C(i, j)$ 表示用简单阈值法分割后的指纹图像中各点灰度值;

$E(i, j)$ 表示用合成法分割后的指纹图像中各点的灰度值。

则有:

$$E(i, j) = \begin{cases} B(i, j) & Z(i, j) \leq \text{VTHR} \\ A(i, j) & Z(i, j) \geq \text{VTHR}, \\ & \text{且 } g(i, j) \geq \text{GRAY} \\ C(i, j) & Z(i, j) \geq \text{VTHR}, \\ & \text{且 } g(i, j) < \text{GRAY} \end{cases} \quad (8)$$

其中 VTHR 为灰度方差阈值, 文中的算法实现中, 取

其值为指纹图像内各块的灰度方差值的平均值;GRAY为灰度阈值,取其值为指纹图像的平均灰度值。分割效果如图3(d)所示。

3 滤波去噪

由于指纹图像质量及指纹压力的不同,难免会出现一些破坏纹线的噪声,主要是断裂和叉连,这两种噪声必须消除,否则会造成伪特征点,影响指纹识别的效果。文中采用方向图滤波器^[5](也称上下文滤波器)来消除这两种噪声。

选取水平方向的平滑滤波器作为基本算子,大小为 $n \times n$,取 $n = 7$,则滤波模板可以用图4来表示。

各系数之间按 $u > x > y \geq 0, z > 0$,且 $u + 2x + 2y - 2z = 0$ 的关系确定,每一行的系数由中间向两端快速衰减,其目的是为了避免破坏大曲率的纹线结构,如果指纹中出现断点,经过滤波器处理后,该点就接近周围点的灰度值;如果出现叉连,则其上下两行的灰度值较大,而其同一行上邻点的灰度值较小,经过滤波后,叉连点的灰度值会明显降低。这样就消除了叉连与断裂噪声。这里设定 $u : x : y : z = 8 : 2 : 1 : 7$ 。

得到水平方向滤波器后,其它的方向(1~7)的滤波器可由水平方向滤波器旋转相应的角度得到。

$-z/3$	$-2z/3$	$-z$	$-x$	$-x$	$-2x/3$	$-x/3$
$y/3$	$2y/3$	y	y	y	$2y/3$	$y/3$
$x/3$	$2x/3$	x	x	x	$2x/3$	$x/3$
$u/3$	$2u/3$	u	u	u	$2u/3$	$u/3$
$x/3$	$2x/3$	x	x	x	$2x/3$	$x/3$
$y/3$	$2y/3$	y	y	y	$2y/3$	$y/3$
$-x/3$	$-2x/3$	$-x$	$-x$	$-x$	$-2x/3$	$-x/3$

图4 水平方向滤波器模板

4 基于方向图的动态阈值二值化

指纹图像二值化就是通过设定阈值,将指纹图像变为只用两阶灰度表示的黑白图像。二值化指纹图像的方法^[6]很多,如固定阈值二值化、基于灰度差直方图的阈值法等,但这些方法的抗噪声干扰效果比较差,这里采用基于方向图的动态阈值二值化方法^[7],具体算法步骤如下:

(1) 对图像中每一点 (i, j) ,以其所在的块方向 θ 作为该像素点的方向 $\theta(i, j)$,并以该点为中心,在其指纹方向上取 $l \times w$ (l, w 一般为奇数,选取 $l = 11, w = 5$)的矩形窗,计算矩形窗内指纹方向每一行中像素点在指纹方向上的加权平均值 $X[0], X[1], \dots, X[w-1]$,具体公式为:

$$X[k] = \sum_{d=0}^{w-1} \text{coefficient}[d] \times f(i_{kd}, j_{kd}) \quad k = 0, 1, \dots, w-1 \quad (9)$$

其中 coefficient 为加权平均系数,满足

$$\sum_{d=0}^{w-1} \text{coefficient}[d] = 1 \quad (10)$$

(i_{kd}, j_{kd}) 是 k 列上的第 d 个像素的位置。

(2) 对 $X[k](k = 0, \dots, w-1)$ 中极大点或极小点附近的波动做平滑处理。

(3) 找出 $X[k](k = 0, \dots, w-1)$ 极大点和极小点位置对应的值,对极大值和极小值求平均,将此平均值作为该点二值化门限,称其为动态阈值。

(4) 将当前像素点的加权平均灰度值 $(X[\frac{w-1}{2}])$ 与动态阈值进行比较,若小于动态阈值,同时,当前像素点在波形图极小点一个有限的邻域内,则当前像素点为脊线点,否则为谷点,即:

$$f(i, j) = \begin{cases} 0 & (X[\frac{w-1}{2}] < \text{动态阈值}) \cap \\ & (|\frac{w-1}{2} - \text{极小点位置}| \leq \delta) \\ 255 & \text{其它} \end{cases} \quad (11)$$

其中 δ 的值与指纹读入器的分辨率有关,通常取为指纹周期的四分之一,这里选取 $\delta = 2$ 。若 $X[k](k = 0, \dots, w-1)$ 的起伏很不明显,说明该区域属于无效区域或背景区域整个区域的像素值置为 255。

按照以上基于方向图的动态阈值二值化步骤处理的指纹图像效果如图5(b)所示。可以看到,二值化后的图像基本保持了原指纹图像的纹线走向,而且有效去除了叉连与断裂噪声。



图5 实验结果

5 指纹图像细化

指纹识别只对纹线的走向感兴趣,不关心它的粗细,经过指纹图像细化,可以得到一个像素宽度的纹线,这样可以简化后续指纹特征提取工作。细化时应保证纹线的连接性、方向性和特点不变性,还应保持纹线中心基本不变。文中采用 OPTA 图像模板细化算法^[8],细化效果如图5(c)所示。

6 实验结果与结论

文中所述的指纹图像预处理算法在 Athlon 3000 +

(下转第91页)

算法中产生的错位畸变。

对比图像5和图像7可知,汉字“粤”的孤立点畸变得到了纠正,即文中提出的改进算法纠正了基于图像像素的八邻域分析的孤立点畸变。

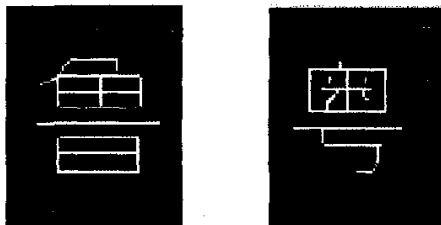


图6 改进算法细化图像 图7 改进算法细化图像

5 结论

由于传统的汉字字符图像细化主要是基于图像像素八邻域分析的算法,而没有考虑具体的汉字字符图像的骨架特征的经常出现笔划交叉的实际情况,这样就存在一定程度的细化误差。经过改进的细化算法,

(上接第84页)

简单的方法顺序调用,因此只能在运行前就安排好各调用的先后顺序,没有做到在执行过程中动态控制流程的转移。形参列表中的类型有些还不能处理,如数组类型、基类和派生类的接口问题,将来可考虑使用 JAXB 这样的软件做此工作。

参考文献:

- [1] 柴晓路,梁宇奇. Web Services 技术、架构及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [2] Andrews T, Carbera F. Business Process Execution Language

(上接第87页)

环境下用 Microsoft Visual C++ 6.0 实现。在改进的点方向图计算的基础上,采用合成分割法对指纹图像进行分割,从图3可以看到,该分割算法对噪声干扰具有较强的鲁棒性。从实验结果(见图5)可以看到,采用文中所述的基于方向图的指纹图像预处理方法,可以有效地去除噪声干扰,并且能够保持纹线方向和纹线特征基本不变,为准确提取指纹特征提供了保证。

参考文献:

- [1] Lam L, Lee S W, Suen C Y. Thinning Methodologies - comprehensive Survey[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(9): 869 - 885.
- [2] 黄贤武, 苏鹏程, 柏培权. 基于方向滤波分割的指纹自动识别系统算法[J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(8): 829 -

充分考虑到了汉字字符图像笔划经常的实际情况,对传统的算法进行了简单而有效的修正,该算法已经成功的应用到了车牌汉字字符识别系统的预处理环节上。综上所述,文中提出的改进算法,较好地纠正了传统的基于图像像素的八邻域分析的细化算法中产生的畸变,方法简单,容易实现,对汉字识别系统的图像预处理有一定的可借鉴性。

参考文献:

- [1] 刘佐谦, 邓荣标, 孔嘉圆. 一种车牌识别算法的实现[J]. 中国科技信息, 2005, 23(2): 56 - 57.
- [2] 刘桂雄, 申柏华, 冯云庆. 基于笔划趋势分析的二值图像细化方法[J]. 光学精密工程, 2003, 11(5): 527 - 530.
- [3] 史绍强, 王英健, 唐贤璞. 基于整形特征和模糊识别的手写体汉字识别[J]. 微机发展, 2004, 14(1): 114 - 116.
- [4] 缪绍纲. 数字图像处理[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2001.
- [5] 王晓丹, 吴崇明. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——图像处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.

for Web Services Version 1.1 [EB/OL]. 2002 - 07 - 30. <http://www-128.ibm.com/developerworks/library/specification/ws-bpel/>.

- [3] Halloway S d. Java 平台组件开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] W3C Recommendation. Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fourth Edition) [EB/OL]. 2006. <http://www.w3.org/TR/REC-xml/#sec-intro>.
- [5] Skonnard A, Gudgin M. XML 精要快速参考手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002.

834.

- [3] 韩伟红, 黄子中, 王志英. 指纹自动识别系统中的预处理技术[J]. 计算机研究与发展, 1997, 34(12): 914 - 920.
- [4] 冯星奎, 颜祖泉, 肖兴明, 等. 指纹图像合成分割法[J]. 计算机应用研究, 2000(1): 76 - 77.
- [5] Gorman L O, Nickerson F V. An Approach to Fingerprint Filter Design[J]. Pattern Recognition, 1989, 1(4): 381 - 385.
- [6] Jain A K, Hong L, Bolle R. On-line fingerprint verification[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(4): 302 - 314.
- [7] 楚亚蕴, 詹小四, 孙兆才, 等. 一种结合方向信息的指纹图像二值化算法[J]. 中国图像图形学报, 2006, 11(6): 855 - 860.
- [8] 冯星奎, 李林艳, 颜祖泉. 一种新的指纹图像细化算法[J]. 中国图像图形学报, 1999, 4(10): 835 - 838.