

一种基于 Core 点及特征点的指纹匹配算法

仲元昌, 朱树阔, 林 永, 李 飞

(重庆大学 通信与测控中心, 重庆 400044)

摘 要: 提出了一种基于 Core 点和特征点的指纹匹配算法, 建立了用 Core 点确定参考点的数学模型, 根据该模型确定了指纹的匹配范围, 通过引入特征点到参考点的脊线条数因子 n 以提高匹配的精度. 并以 Visual C++ 6.0 建立了该指纹识别算法的实验平台, 对提出的指纹匹配算法进行了实验研究, 实验结果表明该算法复杂度较低, 匹配精度较高.

关键词: Core 点; 特征点; 脊线条数; 指纹匹配

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)01-0034-04

Fingerprint Matching Algorithm Based on Core Point and Minutiae

ZHONG Yuan-chang, ZHU Shu-kuo, LIN Yong, LI Fei

(The Center of Communication and Tracking Telemetry & Command,
Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Fingerprint matching algorithm is the core of the fingerprint algorithm, the accuracy of matching depends on the quality of the matching algorithm. For this, the fingerprint matching algorithm based on the Core points and minutiae is given. The mathematical model of the reference point based on Core points are established with a reference fingerprint matching area on the basis of it. Fingerprint ridge line number the factor n between the reference points and minutiae is introduced to improve the matching accuracy. And an experimental platform of fingerprint recognition algorithm is established with Visual C++ 6.0. Experimental results show that the algorithm has a low complexity, a higher matching accuracy, a better practicability.

Key words: Core point; minutiae; fingerprint ridge line number; fingerprint matching

1 引言

指纹匹配算法是指纹识别软件部分的核心, 其优劣决定了指纹识别的速度和准确性. 不少学者对指纹匹配技术进行过深入的研究, 提出了很多匹配算法, 例如, Hrechak 等人用结构匹配进行指纹识别^[1], Isenor 等人使用图来表示指纹特征, 并用图匹配的方法来匹配指纹图像^[2]. 其研究思路都是利用了指纹图中的拓扑结构信息, 目的是减少指纹图中的噪声、旋转与变形对识别的干扰, 但匹配速度较慢. 现在得到普遍认可的是由美国联邦调查局

(FBI)提出的指纹细节点模型匹配, 它是利用指纹脊线的端点和分支点对指纹进行鉴定. 它将细节点用点模式来表示, 这样, 指纹识别问题就转化为点模式的匹配问题. 例如, 文献[3]利用与细节点相关联的脊线段来对齐细节点的模式, 但是脊线的提取及保留脊线的信息存在很大的误差, 文献[4]利用三角匹配的算法, 但是在指纹采集的时候, 指纹图像的旋转和平移是无法避免的, 文献[5]提出了根据细节点聚类的多参考中心匹配算法, 有效地利用了一些孤立且信息量较大的细节点, 但是缺乏纹线信息, 文献[6]提出了根据参考点附近的特征点位置, 并运用相

收稿日期: 2009-09-16; 修回日期: 2010-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(30570473)

似三角形原理进行方向矫正的算法,容易受噪声的影响.为了解决上述问题,本文提出一种基于指纹 Core 点(核心点)及特征点的算法,该算法以 Core 点确定中心参考,在其附近确定特征点并以圆形区域限定匹配范围,同时引入特征点到中心参考点的脊线条数因子 n ,实验结果表明,该算法大大降低了算法的复杂度,有效地提高了匹配的精度.

2 算法研究

2.1 匹配中心点的确定

根据指纹的拓扑特征,指纹图形可分为拱形、尖拱形、左环形、右环形、旋涡形和双环形等 6 种类型^[3],研究发现,不管是哪种类型的指纹,都会有 0, 1 或 2 个 Core 点(核心点)^[6]以指纹 Core 点为条件来确定指纹匹配中心点,然后再确定指纹的匹配区域.参考点确定通过以下 3 种方式:

(1) 如果输入指纹和模板指纹的 Core 点个数都为 0,将指纹区域(记为 D)划分成 M 个小区块,并将每个小区块块的质心点横坐标记为 $x[i]$,纵坐标记为 $y[i]$ ($i = 1, 2, \dots, M$),则指纹图像的质心点坐标为

$$\begin{cases} x_c = \frac{\sum_{i \in D} x[i]}{M} \\ y_c = \frac{\sum_{i \in D} y[i]}{M} \end{cases} \quad (1)$$

(x_c, y_c) 就是这类指纹图形所确定的匹配中心点坐标.

(2) 如果输入指纹和模板指纹的 Core 点个数都为 1,则以 Core 点为指纹匹配中心点,并记输入指纹的匹配中心点为 $C_m = (x_c^p, y_c^p)$,模板指纹的匹配中心点为 $C_{temp} = (x_c^q, y_c^q)$.

(3) 如果输入指纹和模板指纹的 Core 点个数都为 2,取两个 Core 点连线的中点为指纹的匹配中心点,并记坐标为

$$\begin{cases} x_c = \frac{x_{c_1} + x_{c_2}}{2} \\ y_c = \frac{y_{c_1} + y_{c_2}}{2} \end{cases} \quad (2)$$

式中, (x_c, y_c) 为选取的匹配中心点的坐标, (x_{c_1}, y_{c_1}) 和 (x_{c_2}, y_{c_2}) 为指纹的两个 Core 点的坐标.

2.2 匹配范围及特征点信息

输入指纹和模板指纹的匹配中心点确定后,分别以 C_{in} 和 C_{temp} 为圆心, r 为半径,在输入指纹和模

板指纹区域中建立特征点的匹配范围,其示意图如图 1 所示.

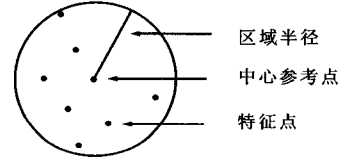


图 1 中心点参考点区域范围

设输入指纹图像选择匹配区域包含 M 个特征点,用下面的公式表示特征点集及其所含信息:

$$P = ((x_1^p, y_1^p, \theta_1^p, n_1^p, s_1^p)^T, \dots, (x_M^p, y_M^p, \theta_M^p, n_M^p, s_M^p)^T) \quad (3)$$

设模板指纹图像选择匹配区域包含 N 个特征点,则特征点集及其所含信息表示为

$$Q = ((x_1^q, y_1^q, \theta_1^q, n_1^q, s_1^q)^T, \dots, (x_N^q, y_N^q, \theta_N^q, n_N^q, s_N^q)^T) \quad (4)$$

这里 x, y 是特征点的纵、横坐标值, θ 是特征点的方向值 ($0 \leq \theta \leq 360^\circ$), n 是特征点到匹配中心点之间的指纹脊线条数, s 是特征点的类型 (0 代表端点, 1 代表分支点). 在匹配过程中,由于输入指纹和模板指纹圆形区域内包含的每一个特征点彼此都要匹配一次,因此会有 $M \times N$ 次匹配机会. 引入一个新的元素 n , 是为了提高指纹的匹配精确度, 因为,采集指纹图像时,多次的按捺,会导致同一枚指纹的图像发生平移、旋转、局部变形,但是每个特征点到匹配中心点的脊线条数是固定的不会发生变化. 连接特征点和匹配中心点的线段与脊线的交点的个数就是 n 的值.

2.3 特征点统一坐标

考虑到采集指纹图像时,手指发生旋转,计算出输入指纹图像的特征点 P_i ($1 \leq i \leq M$) 与模板指纹图像的特征点 Q_j ($1 \leq j \leq M$) 之间的方向差,并记为 $\text{rotate}[i][j] = |\theta_i^p - \theta_j^q|$ ($0 \leq \text{rotate} \leq 360^\circ$). 然后,以匹配中心点为极点,分别将输入指纹和模板指纹的每个特征点转换成极坐标,为以后匹配之用. 其极坐标变换式为

$$\begin{bmatrix} \rho \\ \theta \\ n^* \\ s^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} \\ \arctan\left(\frac{y_i - y_c}{x_i - x_c}\right) - \text{rotate} \\ n \\ s \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, (x_c, y_c) 为匹配中心点的坐标, (x_i, y_i, n, s) 为待转换特征点的坐标信息, $(\rho, \theta, n^*, s^*)^T$ 为转换后的特征点极坐标的极径、极角、特征点到极点之间指

纹脊线的条数、特征点类型. 需要强调的是, 模板指纹的特征点极坐标转换时, rotate 的值是为 0 的.

2.4 自适应的界限盒

指纹图像采集时, 按捺压力的不同, 会导致指纹图像在一定范围内发生局部变形, 特别是我们所选择的指纹中心区域变形较大, 而且是非线性的, 即使经过图像增强后^[7], 也很难发现其规律, 所以匹配特征点时不可能是吻合的匹配, 而只能是在一定范围的匹配. 引入界限盒^[8], 很好地解决了这个问题, 所谓界限盒就是放在模板特征点上的一个小“盒子”, 它的大小由极角和极半径来决定. 本算法引入大小可变的界限盒以适应不同特征点的匹配, 如图 2 所示.

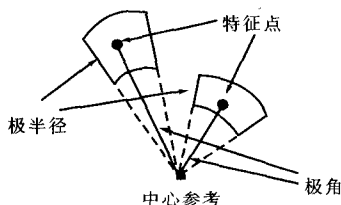


图 2 可变大小的界限盒

从图 2 可以看出, 距离匹配中心点远的特征点其界限盒的极半径增大, 极角减小; 近的特征点其界限盒的极半径减小, 极角增大. 可变界限盒的引入也增强了匹配算法的鲁棒性, 当输入特征点和模板特征点都落在界限盒里, 如果类型相同且它们到中心点的脊线条数也相等, 则认为这两个特征点来自同一枚指纹.

2.5 匹配步骤描述

讨论完匹配条件后, 提出如下的算法步骤:

(1) 根据第 2.1 节和第 2.2 节确定匹配中心点和匹配区域.

(2) 判断匹配中心点的选取方式 (参见第 2.1 节), 如果输入指纹和模板指纹匹配中心点确定方式相同, 执行步骤 (3), 否则, 直接断定输入指纹和模板指纹不匹配, 返回步骤 (1).

(3) 在匹配区域内选择 $P_i (1 \leq i \leq M)$ 和 $Q_j (1 \leq j \leq N)$ 作为特征匹配点对, 并按式 (3) 进行极坐标转换, 如果所有的特征点都已考察, 则转到步骤 (6).

(4) 根据极角由小到大的顺序, 分别对输入特征点集和模板特征点集进行排列.

(5) 对特征点对 P_i 和 Q_j , 判断类型 s 是否相同, 若不相同, 此特征点对不匹配, 继续寻找特征点对, 否则, 判断 n^* 是否相等, 若不等, 直接判断此特征点对不匹配, 否则, 按着第 2.4 节中提出的判决条件,

判断特征点对是否落在同一个接线盒内, 若不在同一盒内, 此特征点对不匹配, 否则, 使先前设定好的 $Sore[i][j]$ 增加 1, 继续寻找特征点对, 若模板中的特征点都以考察完, 则返回步骤 (2).

(6) 统计出 $Sore[i][j]$ 中最大的分数 $Sore[i][j]_{max}$, 且把它作为输入指纹和模板指纹匹配的最大分数, 若 $Sore[i][j]_{max}$ 大于或等于先前给定的阈值, 则判断此输入指纹和模板指纹来自同一手指.

3 算法实现与实验结果分析

以 Visual C++ 6.0 为工具建立了指纹识别算法实现平台, 对提出的算法进行了实验, 所选的指纹库中共包含 40 枚像素为指纹图像, 它们来自 8 个手指, 每个指头通过平移、旋转和不同的按捺压力采集 5 次. 图 3 和图 4 所示为实验示例, 图中的左下按钮 Open_tfp 打开的是模板指纹, 右下按钮 Open_ifp 打开的是待匹配指纹, 点击 match 按钮直接弹出匹配结果. 实验共进行了次匹配验证, 其中拒真的次数为 30 次, 误识的次数为 0, 实验结果与文献 [6] 中的实验结果进行了比较, 如表 1、表 2 所示.

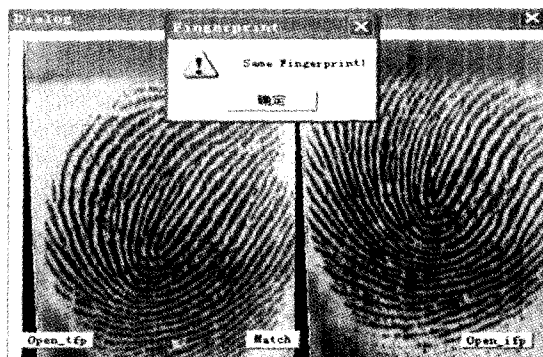


图 3 指纹匹配成功

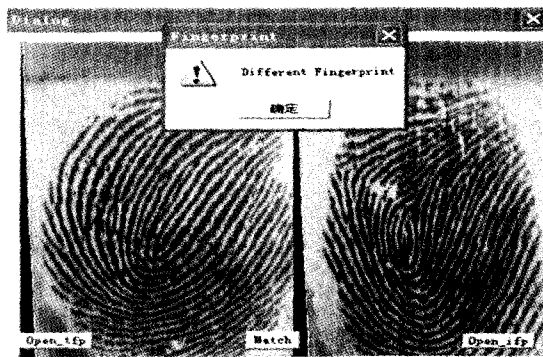


图 4 指纹匹配失败

实验结果比较显示, 在本算法实验的总匹配次数远大于文献 [6] 中实验的情况下, 误识率都为 0, 本算法具有更低的拒识率, 正确识别率有所提高.

表 1 文献[6]实验结果

总匹配/次	拒识/次	误识/次	拒识率 FRR/%	误识率 FAR/%	正确率 CR/%
360	8	0	2.22	0	97.78

表 2 本算法实验结果

总匹配/次	拒识/次	误识/次	拒识率 FRR/%	误识率 FAR/%	正确率 CR/%
1 560	30	0	1.92	0	98.08

4 结束语

本文提出的指纹匹配算法以 Core 点建立的中心匹配点,以圆形区域限制匹配范围,有效地降低了匹配的复杂度,在特征点集的信息中引入了特征点到中心参考点的脊线条数 n,增强了指纹的匹配精度。但是,Core 点和特征点的检测和提取会受到采集指纹图像质量的影响,如果图像受干扰较严重,则很难检测以致影响后面的提取及匹配。

参考文献:

[1] Hrechak A K, Mchugh J A. Automated fingerprint recognition using structural matching[J]. Pattern Recognition, 1990, 23(8): 893—904.

[2] Isenor D K, Zaky S G. Fingerprint. identification using graph matching[J]. Pattern Recognition, 1986, 19(2):

113—122.

[3] Jain A, Lin Hong, Bolle R. On line fingerprint verification [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(4): 302—313.

[4] Kovacs Vajna Z M. A fingerprint verification system based on triangular matching and dynamic time warping [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22 (11): 1266—1276.

[5] 赵德群, 苏菲, 蔡安妮. 基于细节点聚类的多参考中心指纹匹配算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 5(24): 157—161.

[6] 朱宁, 施荣华, 吴科桦. 一种新的点模式指纹匹配方法 [J]. 计算机工程与应用, 2006(5): 74—76.

[7] 张正言, 聂桂军, 徐荣青. 基于连续方向图的指纹图像增强算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 3(24): 56—58.

[8] 罗希平, 田捷. 自动指纹识别中的图像增强和细节匹配算法[J]. 软件学报, 2002, 13(5): 946—956.

作者简介:

仲元昌 男, (1965—), 博士, 副教授. 研究方向为通信与测控.

朱树阔 男, (1984—), 硕士研究生. 研究方向为通信与测控中电路与系统.

林 永 男, (1982—), 硕士研究生. 研究方向为通信与测控中电路与系统.

李 飞 男, (1985—), 硕士研究生. 研究方向为通信与测控中电路与系统.

(上接第 33 页)

[6] Jensen K. Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use [M]. Springer — Verlag, 1992.

作者简介:

毕经存 男, (1965—), 博士研究生. 研究方向为嵌入式系统.

杨卫军 讲师. 研究方向为嵌入式系统.