

基于结构特征信息的指纹匹配算法研究

Research on The Matching Algorithm of Fingerprint Based on Structural Feature Information

张小海 王 宪 (江南大学 通信与控制工程学院 江苏 无锡 214122)

摘要: 为了克服通常的指纹识别算法都不支持指纹的旋转和偏移的问题,本文提出了一种基于结构特征信息的匹配算法。该算法利用结构特征信息中的邻点方向、脊线数、特征方向差和特征类型等特征信息建立特征矩阵,用两特征点所提取的局部结构信息进行测试来判断该两点是否匹配。计算机仿真实验结果表明,该算法对旋转、偏移、扭曲和压缩等具有很好的鲁棒性,而且算法复杂度小、处理效果好、运算速度快。

关键词: 指纹匹配 旋转 偏移 扭曲

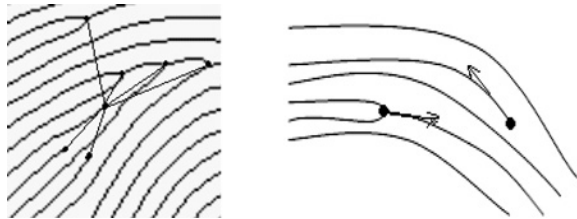
1 引言

指纹特征匹配是自动指纹识别系统中的最后一步,也是最为关键的一步,在特征提取之后。指纹匹配是用来判决两幅指定的指纹图像是否来源于同一个手指,利用提取的两幅指纹特征信息进行相关匹配运算。目前指纹匹配常用脊线端点和脊线分歧点实现。特征提取就是提取一副指纹图像中这两种特征点的类型、位置和方向等信息。

目前,自动指纹匹配方法主要包括基于节点匹配的方法和基于图像匹配的方法^[1]。基于图像的匹配方法由于受到采集的图像质量的影响较大,因此,基于节点匹配的方法较常用。基于节点的匹配算法中最常用的为基于中心点的特征匹配^[2],根据中心点信息确定基准点对、计算相对平移和旋转参数、待识指纹图像姿势矫正、统计最终匹配结果。由于中心点难以确定且所确定的中心点坐标往往存在一定误差,图像经过平移和旋转,进行姿势矫正,会引入一定的噪声。因此,这类方法比较繁琐,效果一般。

基于结构的指纹匹配^[3]不受旋转和平移的影响,无需确定中心点。利用特征点和周边特征点的结构关系和特征信息进行局部小区域的匹配,得到该特征点的匹配分数,遍历所有的特征点,最终得到两幅图像的匹配分数。

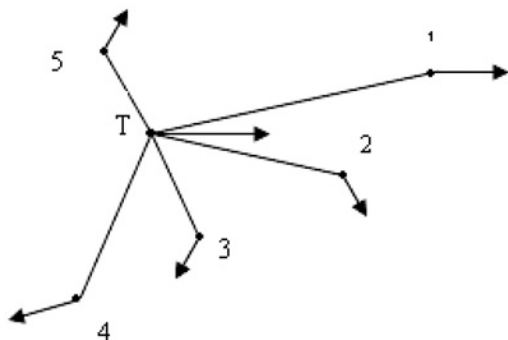
构关系以及特征信息如图1所示。其中,图1(a)描绘出细化后指纹的一个局部区域几个特征点间的相互关系,从图上可以看出,特征点间的位置关系、穿越的脊线数以及特征点类型不随平移和旋转而变化;图1(b)规定了端点和分歧点两类特征点的方向表示;图1(c)表示出了几个相邻的特征点的位置关系以及角度关系,其中每个箭头方向表示每个特征点的特征方向,从图上亦可看出,特征点间的位置关系以及角度关系不随偏移和旋转而变化。本文提出的匹配算法就是利用跨越的脊线数、角度关系和特征点类型等结构特征来比对的,没有采用距离关系,距离易受到扭曲和压缩的影响。这些结构特征对指纹图像的扭曲、压缩、旋转和平移鲁棒,因此,本算法具有很好的鲁棒性,对扭曲严重、压缩较大、中心点很难提取的指纹都有很好的效果。



(a)特征点间的位置关系 (b)特征点的特征方向规定

2 数学建模

对于一个特征点及其周边的若干特征点的结



(c)几个特征点间的角度关系

图 1 特征点结构及特征信息

3 指纹匹配

3.1 特征信息

本特征匹配需要穿越的脊线数和角度关系等特征信息。计算穿越脊线的方法有很多种,数值微分法、中点画线法、Bresenham 算法等等,但是数值微分法需要采用浮点运算,累计误差将使得所计算的像素位置偏离实际直线段。由于像素网格坐标的取整运算和浮点运算速度均很慢,算法效率低,因而实际中很少使用。中点画线算法和 Bresenham 算法^[4]克服了数值微分法的缺点,是最有效的方法。本文运用 Bresenham 算法计算穿越脊线个数,具体方法参照文献[4],该方法快速准确,便于硬件实现,具有很好的实用性。

规定逆时针方向为脊线和特征点的正方向。本文所用的脊线方向是局部小块的脊线方向。首先将指纹图像分成适当的块(本文取的块大小为 $13 * 13$),然后采用 Lin hong 等人在文献[5]中的方向求取算法得到块方向。各特征点的方向与其所在的块方向有关,参照图 1(c),若与块方向一致,则其方向即为块方向,否则其方向为块方向加上 π (计算块方向时,块方向被约束在 $[0, \pi]$)。参考图 1,邻域特征点与中间点的特征方向差为邻域的特征点方向减去中间点的方向,并把这个方向差约束在 $[0, 2\pi]$ 范围内。

3.2 匹配特征

3.2.1 建立特征矩阵

本文采用 7 邻域特征点结构。对任意特征点,按照 Euclidean distance 距离选取与其最近的 7 个点共同构成该特征点的特征结构。对所有的其他特征点按照

公式(1)计算到该特征点的 Euclidean distance 距离,然后进行由小到大排序,选取前 7 个特征点,这些点即为要找的 7 邻域特征点。其中 (x_n, y_n) 表示该特征点的坐标, (x_m, y_m) 表示相邻的第 m 个特征点的坐标, l_m 表示最近的第 m 个特征点到这个特征点的 Euclidean distance 距离。

$$l_m = \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2} \quad (1)$$

找到这 7 个相邻的特征点后,参考图 1(a),按照公式(2)计算这 7 个特征点与中间点的两点间的方向,其中对于 $x_m = x_n$,若 $y_m > y_n$ 则 $\theta_m = \pi/2$,否则 $\theta_m = 1.5\pi$,再参考图 1(c),以中间特征点的特征方向为水平正方向,将 θ_m 规约到 $[0, 2\pi]$,称这些方向为邻点方向。然后按照这些由小到大的邻点方向对这 7 个点进行排序建立特征矩阵,方向小的在最前,大的排最后,其中对于方向一样的多个特征点按照距离由小到大排序。这样,一个 7 邻域的特征点列便可有序排列开来。

$$\theta_m = \arctan\left(\frac{y_m - y_n}{x_m - x_n}\right) \quad (2)$$

每个邻域特征点含有四个特征信息,包括自身特征类型 T_m 、与中间点所成的邻点方向 θ_m 、到中间点所穿越的脊线数 N_m 和与中间特征点的特征方向差 Q_m 。这样一个特征点列并可建立起来,其中 i_l_n 表示类型为 i 的第 n 个特征点的 7 邻域特征点列, $j=1$ 表示端点类型, $j=2$ 表示分歧点类型。所有的特征点列共同构成了特征矩阵。

3.2.2 配特征点列

对两幅指纹图像计算出两个特征矩阵后,任选两个特征矩阵中的类型相同的特征点列进行测试是否匹配。每个特征点列包括 7 组按序排列的特征信息,进行按序检测。具体方法如下:

(1) 在待识匹配点列中搜寻与模板匹配点列中 θ_m 相差小于 ω 的邻域点对进行匹配测试,这里取 $\omega = \pi/12$ 表示只对两个点列中 θ_m 相差小于 15 度的点对进行测试;

(2) 若这两个点对的类型 T 一样,所穿越的脊线数相等,且与中间特征点的特征方向差之差小于 φ (这里取 $\varphi = \pi/18$ 表示与中间特征点的特征方向差之差小于 10 度)则这两个点对匹配;

(3) 对剩下的待识组特征信息按照(1)和(2)

处理；

(4) 统计两个特征点列中所匹配的点对数,若匹配点对数大于 K (这里取 $K=4$,表示两组特征点列中至少有 5 组特征信息匹配,即这两个特征点的 7 个相邻的特征点中至少有 5 组点对匹配),则这两个特征点匹配。

3.2.3 匹配判决

遍历所有的特征点列,对两个特征矩阵进行匹配计算,按照公式(3)最终得到两幅指纹的匹配分数。其中 n 表示两幅指纹的匹配点对数, N_a 表示模板指纹的特征点数, N_b 表示待识指纹的特征点数。

$$score = \frac{n}{\min(N_a, N_b)} \quad (3)$$

匹配判决取决于匹配分数 $score$ 和匹配点数 n ,如果 $score$ 大于 α 且 n 大于 β (这里取 $\alpha=0.6$ $\beta=8$,表示匹配的两个特征点集中成功匹配的点对数至少占 60% 且能成功匹配的点对数大于 8),则这两幅指纹匹配,否则不匹配。

注意,由于自动指纹识别算法中存在两个相对立的指标:拒识率 FRR 和误识率 FAR 。因此,这里提供了五个参数 ω 、 φ 、 K 、 α 和 β 来根据不同的应用环境去调节 FRR 和 FAR 。例如,当 ω 越小,或者 φ 越小,或者 K 越大,或者 α 越大,或者 β 越大时,则 FRR 越大而 FAR 越小,反之则 FRR 越小而 FAR 越大。

4 实验结果与结论

在 AMD2500+, 1.40GHz, 512M 内存的台式计算机上,用 MATLAB 语言实现上述算法,并进行仿真实验。本文描述的算法使用公开数据集 FVC2002DB 指纹数据库作为测试对象,每个库中分别有十组指纹图像,每组为同一指纹的不同采集图像,共 320 幅指纹图像。数据库比较齐全,各种类型的指纹都有,这些指纹大多质量较差,且有些指纹噪声严重、扭曲较大及旋转较大。

在 Matlab 仿真环境下,取 $\omega = \pi/12$ 、 $\varphi = \pi/18$ 、 $K = 4$ 、 $\alpha = 0.6$ 和 $\beta = 8$,邻点个数为 7,将上述算法编写成

可执行的程序后,对该指纹库做了 10000 次自动匹配实验。结果,正确匹配次数为 9815 次,拒识 148 次,误识 37 次,识别准确率为 98.15%,拒识率为 1.48%,误识率为 0.37%,每一次匹配平均用时 0.2570s。实验结果反映了该算法有较高的识别率和较强的抗噪性。

本文提出了一种基于指纹局部若干特征点的结构特征信息的匹配算法,无需提取指纹的中心点,不需要进行待识指纹的旋转和平移,该算法利用特征点及其邻域特征点所成的邻点方向、穿越脊线数、特征方向差以及特征类型等结构特征信息进行匹配测试,利用同类型的两个特征点的局部结构特征信息匹配测试来判断模板与待识指纹中的这对特征点是否匹配。其中,特征点及其邻域特征点所成的邻点方向和穿越脊线数能很好地反映两个特征点间的位置关系,且不受旋转、平移、扭曲和压缩的影响,特征方向差能够反映出该特征点与邻域点所在区域的脊线方向信息。由于所利用的特征信息对旋转、平移、压缩和扭曲鲁棒,因此,该算法不仅可以较强地克服由于指纹图像的旋转、平移、扭曲和压缩对指纹识别造成的影响,而且由于利用了局部邻域特征点结构信息,数据量小,识别速度快,可靠性强。

参考文献

- 1 马康玉,刘超,刘跃峰.基于图像匹配的指纹识别.计算机工程,2003,29(18):117-118.
- 2 王业琳,宁新宝,尹义龙.一种新的指纹匹配算法.中国图象图形学报,2003,8(2):203-208.
- 3 苑玮琦,李宏伟.基于指纹结构特征信息匹配的算法.光电工程,2006,33(7):101-104.
- 4 孙家广.计算机图形学.北京:清华大学出版社,1998.
- 5 Lin Hong, Yifei Wan, Anil Jain. fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1998,20(8):777-789.