

研究简报

基于方向场特征的指纹图像奇异点检测

杨海军

(西安交通大学图像处理与识别研究所 西安 710049)
(E-mail: yanghj73@263.net)

梁德群

(大连海事大学信息工程学院 大连 116026)

田原

(中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室 北京 100080)

关键词 指纹图像, 奇异点, 方向场, 曲率, Poincaré 指数.

SINGULAR POINT DETECTION OF FINGERPRINT BASED ON DIRECTIONAL FIELD CHARACTERISTICS

Yang Hai-Jun¹ Liang De-Qun² Tian Yuan³

(*Institute of Image Processing and Recognition, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049*)¹

(E-mail: yanghj73@263.net)¹

(*College of Information Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026*)²

(*National Laboratory of Pattern Recognition, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)³

Key words Fingerprints, singular points, directional field, curvature, poincaré index.

1 引言

指纹是指端表面的纹路结构,由于具有不变性、唯一性以及易于采集的特性,指纹识别已经成为生物鉴定学的一个重要方面.指纹识别通常包括以下几个阶段:分割、图像增强、分类、细节提取以及匹配^[1].

在所有的处理过程中,一个有效的分类算法是至关重要的.奇异点数目的多少以及奇异点之间的相对位置关系,是指纹分类的重要依据之一.指纹的奇异点检测已经有很多种方法^[2~4],这些方法要么不具有平移、旋转不变性,要么方法的精度和可靠性比较差.本文提出一种新的奇异点检测方法,利用指纹的方向场在奇异点附近的变化比较剧烈,而在其他地方的变化比较平缓的特点来检测奇异点.这种方法具有平移和旋转不变性.对不同质量的指纹图像进行的实验结果表明该方法是有用的、可靠的.

2 基于曲率的方向场计算

指纹纹线中的上凸和下凹称为脊线和谷线,可以将其看成是凸和凹的屋脊型边缘.对于屋脊边缘来说,沿脊(谷)线走向的弯曲程度最小,即在屋脊边缘曲面上具有最小曲率的方向就是脊线的方向.屋脊边缘曲面的弯曲程度和弯曲方向可以用曲面的法曲率来衡量.

将指纹图像中的脊线看成一灰度曲面, $r = \{x, y, f(x, y)\}$, x, y 表示横、纵坐标, $f(x, y)$ 是图像的灰度值,且具有连续的二阶导数,则曲面的第一基本形式 I 和第二基本形式 II 分别为^[5]

$$I = Edx^2 + 2Fdx dy + Gdy^2, II = Ldx^2 + 2Mdx dy + Ndy^2, \quad (1)$$

其中 $E = 1 + p^2, F = pq, G = 1 + q^2, L = r / (1 + p^2 + q^2)^{1/2}, M = s / (1 + p^2 + q^2)^{1/2}, N = t / (1 + p^2 + q^2)^{1/2}, r = \partial^2 f / \partial x^2, s = \partial^2 f / \partial x \partial y, t = \partial^2 f / \partial y^2, p = \partial f / \partial x, q = \partial f / \partial y$. 则该曲面上任意一点的法曲率 k_n 用下式决定^[5]:

$$k_n = II / I. \quad (2)$$

曲面上一点的两个方向,如果它们既正交又共轭,则称为曲面在该点的主方向.设这两个方向的正切为 α_1, α_2 ,则它们是如下一元二次方程的根^[5]

$$(EM - FL)\alpha^2 + (EN - GL)\alpha + (FN - GM) = 0, \quad (3)$$

(3)式的判别式为 $\Delta = (EN - GL)^2 - 4(EM - FL)(FN - GM)$. 当且仅当 $EN - GL = EM - FL = 0$ 时,判别式为零,此时(3)式是恒等式,因此该点的每一方向都是主方向;否则,判别式大于零,(3)式总有两个不相等的实根,因此总有两个主方向.曲面上任意一点在主方向上的法曲率称为曲面在该点的主曲率.可以证明,主曲率是法曲率的最大值和最小值.主曲率的计算公式为^[5]

$$(EG - F^2)k^2 - (LG - 2MF + NE)k + (LN - M^2) = 0. \quad (4)$$

这样,在屋脊边缘曲面的最小主曲率方向上得到最小曲率,表明沿该方向,曲面的弯曲程度最小,即最小主曲率方向就是脊线的走向.因此只要用式(3)得到曲面的主方向,用式(4)得到主曲率,则最小主曲率所对应的方向就是脊线在该点的方向 θ 为

$$\theta = \arctan \alpha, (\alpha \text{ 是对应最小主曲率的方向的正切}). \quad (5)$$

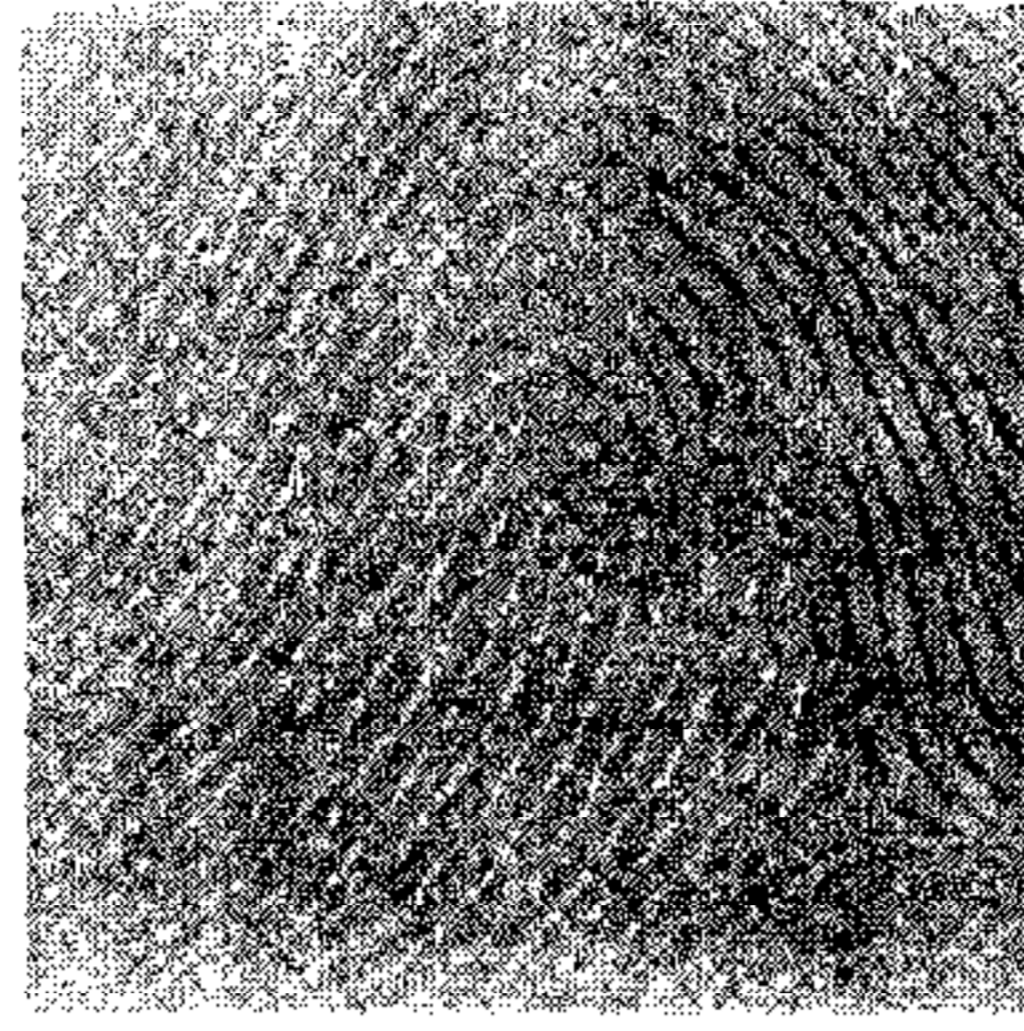
图1(b)是用本文方法对图1(a)所示指纹图像的脊线的方向场(0表示 $-\pi/2$, 1表示 $\pi/2$).

3 奇异点的检测

从指纹图像的脊线的方向场图中可以看到,在奇异点附近,脊线的方向变化比较剧烈而在其他地方的变化相对平缓,本文定义方向一致性度量来衡量方向变化的缓急.设当前像素点的坐标为 (i, j) ,其邻域为 $R = \{(m, n) \mid |m - i| \leq L, |n - j| \leq L\}$, L 是邻域长度的一半,则该点方向一致性度量 $C_{or}(i, j)$ 定义为



(a)原图



(b)脊的方向场

图1 指纹图像的方向场估计

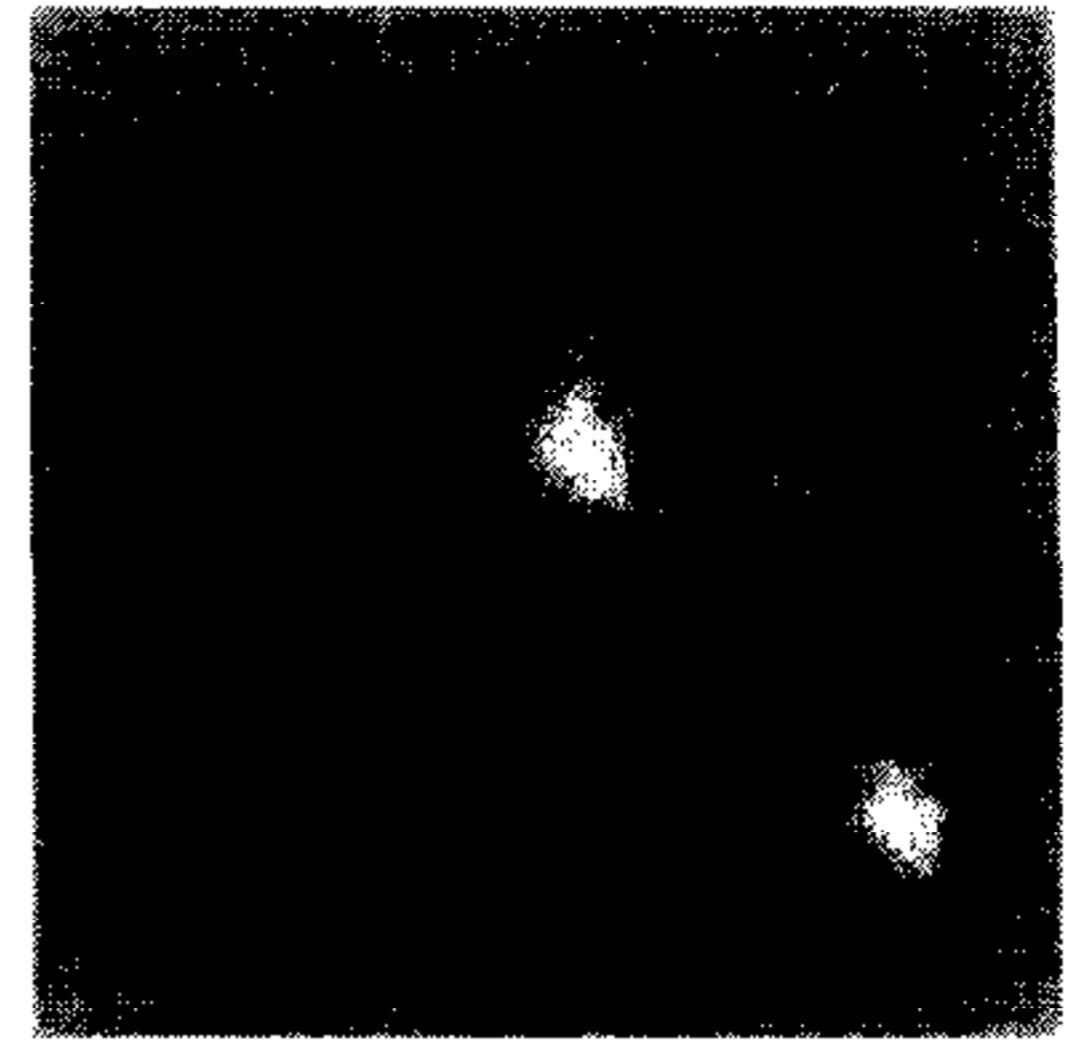


图2 图1(b)的方向一致性度量

$$C_{or}(i, j) = \left[1 - \frac{\left| \sum_{(m,n) \in R} \sin(2\theta_{m,n}) \right|}{\sum_{(m,n) \in R} \left| \sin(2\theta_{m,n}) \right|} \right] \times \left[1 - \frac{\left| \sum_{(m,n) \in R} \cos(2\theta_{m,n}) \right|}{\sum_{(m,n) \in R} \left| \cos(2\theta_{m,n}) \right|} \right], \quad (6)$$

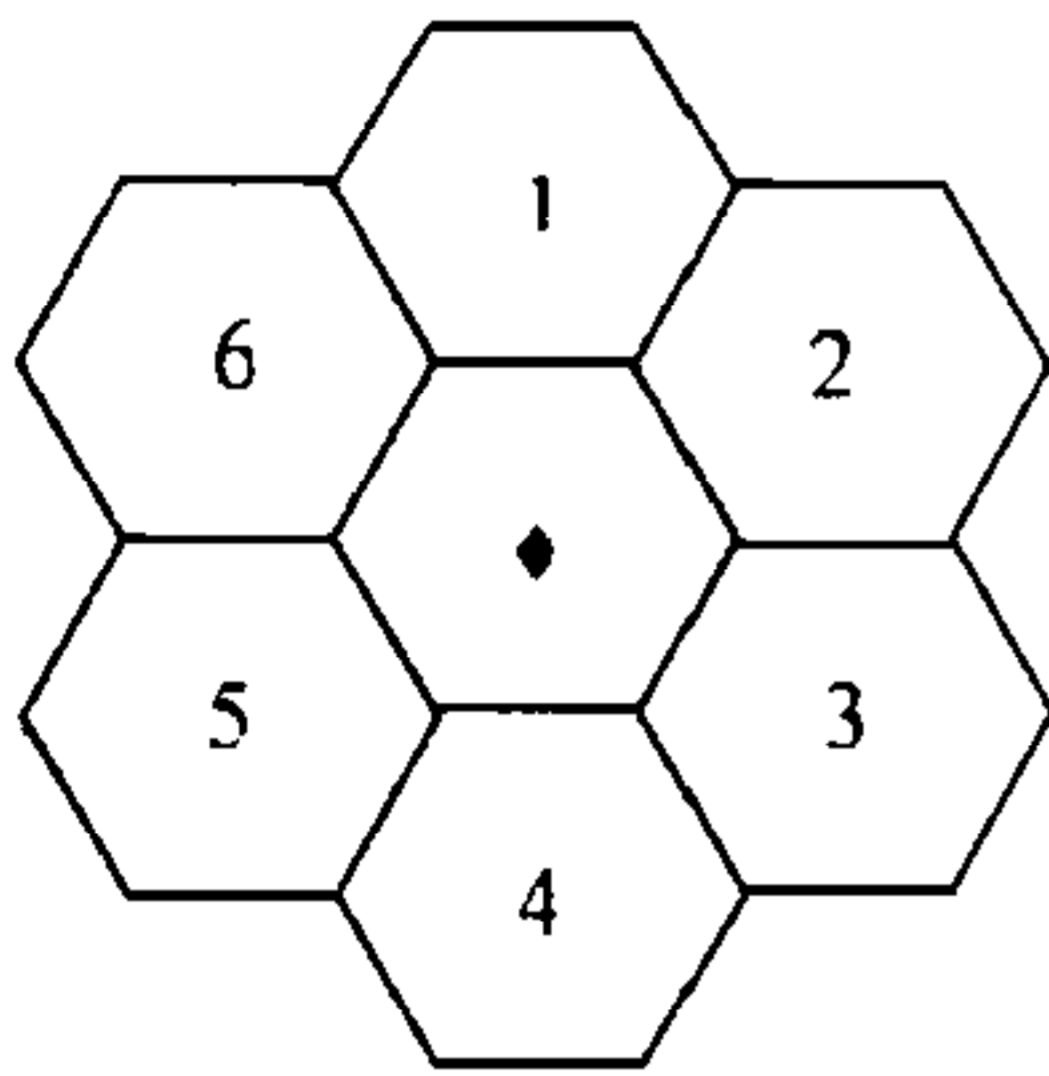


图3 计算 Poincaré 指数的六边形结构

式中 $\sin(2\theta)$, $\cos(2\theta)$ 分别表示方向 θ ($\theta \in (-\pi/2, \pi/2)$) 的垂直和水平分量, 2θ 是为了克服 θ 在 $\pi/2 \rightarrow -\pi/2$ 时的不连续. (6) 式从水平和垂直两个方向的分量来衡量方向的分布是否一致, 当当前点的邻域内的方向一致时, $C_{or}(i, j) = 0$; 而 $C_{or}(i, j)$ 的值越接近 1 则表示当前点的邻域内的方向越不一致. 由于方向一致性度量考虑的是方向的变化, 因此方向一致性度量具有旋转和平移不变性. 图 2 是图 1 所示指纹图像的方向一致性度量结果.

对于实际采集的指纹图像来说, 在指纹和背景交界处的采集效果比较差, 有时也会出现方向变化比较剧烈的情况, 而奇异点一般位于靠近指纹图像的中心. 为了区分这两种情况, 定义概率函数 $D(i, j)$ 为

$$D(i, j) = \exp[-\text{dis}[(i, j), (i_c, j_c)]/2\sigma^2] / \sqrt{2\pi}\sigma. \quad (7)$$

式 (8) 中 (i_c, j_c) 表示指纹图像的中心点的坐标, $\text{dis}[(i, j), (i_c, j_c)]$ 是当前点到中心点之间的距离, σ 是尺度参数. 概率函数表明奇异点出现的概率应该随着距离中心越远而越低.

设当前像素点的坐标为 (i, j) , 定义奇异点检测函数 $S(i, j)$ 为

$$S(i, j) = C_{or}(i, j) \cdot D(i, j). \quad (8)$$

若 $S(i, j)$ 是当前邻域内的极大值并大于阈值 T_s 时, 当前点是奇异点. 阈值 T_s 可以根据不同的指纹图象质量进行调整. 由于方向一致性度量具有旋转和平移不变性, 而概率函数是中心对称函数, 也同样具有旋转和平移不变性, 因此奇异点检测函数具有平移和旋转不变性.

用 Poincaré 指数^[6]辨别奇异点是核心点还是三角点. Poincaré 指数定义为以奇异点为圆心的一条圆形封闭曲线上方向场的方向变化之和. 如果 Poincaré 指数为 π , 则表明当前奇异点是核心点; 如果 Poincaré 指数为 $-\pi$, 则是三角点. 由于 Poincaré 指数的计算需要用封闭曲线, 因此比较复杂而且对噪声比较敏感, 本文提出一个简化的, 抗噪性能更好的方法. 建立如图 3 所示的六边形结构, “◆”表示奇异点, 得到奇异点周围每个小六边形内的平均方向 $O(i)$, $i=1, 2, \dots, 6$, 则 Poincaré 指数 P 为

$$P = \sum_{k=1}^6 \Delta(k), \Delta(k) = \begin{cases} \delta(k), & |\delta(k)| < \pi/2, \\ \delta(k) + \pi, & \delta(k) \leq -\pi/2, \\ \delta(k) - \pi, & \delta(k) \geq \pi/2, \end{cases} \quad (9)$$

其中 $\delta(k) = O(i') - O(i)$, $i = (i+1) \bmod 6$, $i = 1, 2, \dots, 6$.

4 实验和结论

图4是用本文方法对从互联网上下载的不同质量的标准指纹图像和实际应用中的指纹图像进行检测的结果,“+”表示核心点,“×”表示三角点.



图4 实际指纹图像的奇异点检测结果

本文方法建立在一种新的基于曲率的方向场计算基础上,和其它方向场估计方法比较,该方法能更精确地反映指纹的方向场信息,通过对大量实际指纹图像进行的实验证明了该方法的有效性和可靠性.

参 考 文 献

- 1 Jain A K, H Pankanti L S *et al.* An identity-authentication system using fingerprints. In: Proc. IEEE, 1997, **85**(9): 1365~1388
- 2 Srinivasan V S, Murthy N N. Detection of singular points in fingerprint images. *Pattern Recognition*, 1992, **25**(2): 139~153
- 3 Drets G, Liljenström H. Fingerprint sub-classification and singular point detection. *Int. J. PRAI*, 1998, **12**(4): 407~422
- 4 Karu K, Jain A K. Fingerprints classification. *Pattern Recognition*, 1996, **29**(3): 389~404
- 5 梅向明, 黄敬之. 微分几何. 北京: 高等教育出版社. 1988
- 6 Kawagoe M, Tojo A. Fingerprint pattern classification. *Pattern Recognition*, 1984, **17**(3): 295~303

杨海军 男, 1973年3月出生. 1997年在西安交通大学获模式识别与智能控制专业硕士学位, 目前攻读西安交通大学通信与信息系统专业博士学位. 主要研究方向为图像检测、低级视觉和图像识别.

梁德群 男, 1940年12月出生. 大连海事大学信息工程学院教授、博士生导师. 目前主要的研究兴趣是低级视觉、并行结构和图像检测, 特别是在图像检测方面取得了多项具有很高经济效益的成果.

田原 1965年生, 1985年毕业于第二炮兵工程学院动力机械系, 后留校任教. 1994、1998年在西安交通大学分别获模式识别与智能控制、通信与电子系统专业硕士及博士学位. 现在中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室做博士后研究工作, 研究兴趣为图像处理与分割、图像目标的检测及识别、视觉监控和图像理解等领域.