

掌纹轮廓特征点提取新方法

刘富^{1,2},侯涛¹,栾慧¹,史维刚¹,崔平远²

(1. 吉林大学 通信工程学院,长春 130022; 2. 哈尔滨工业大学 深空探测基础研究中心,哈尔滨 150001)

摘要:基于 Harris 角点检测方法的基本原理,提出了一种轮廓特征点提取的新方法。为了满足提取掌纹轮廓特征点的要求,根据掌纹中所要提取的轮廓特征点所在区域的生理特征(凸凹形区域),对 Harris 角点检测方法进行了改进,对算法进行了推导和讨论,并进行了实验研究。实验结果表明,用该方法提取的掌纹轮廓特征点能够方便地对掌纹进行定位,为实现掌纹自动识别算法打下了基础。

关键词:信息处理技术;掌纹识别;轮廓特征点;角点检测

中图分类号:TN911.73 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2007)04-0897-04

New method to detect contour characteristic points of palmprint

Liu Fu^{1,2}, Hou Tao¹, Luan Hui¹, Shi Wei-gang¹, Cui Ping-yuan²

(1. College of Communications Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. Deep Space Exploration Research Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: A new method to detect the contour characteristic points of the palmprint was proposed based on the basic principles of the Harris corner detection. The Harris corner detection was improved according to the physiological features(the convex and concave areas) of the palmprint region where the contour characteristic points need to be detected. The algorithm was derived and discussed, and the experiments were performed. The results show that the contour characteristic points of the palmprint detected by the proposed new method could orient conveniently the palmprint, providing a basis for automatic recognition of the palmprint.

Key words: information processing; palmprint recognition; contour characteristic points; corner detection

掌纹识别是身份识别领域中的一种重要方法^[1,2]。掌纹识别系统包括掌纹定位、特征空间提取和特征辨识。其中掌纹定位是特征空间提取和特征辨识的前提。定位的快速性和准确性直接影响着掌纹识别系统的速度和精度,而轮廓特征点的提取又是掌纹定位的关键。

掌纹图像中的轮廓线上存在很多轮廓特征点,其中包括角点和切点^[3]。Harris 角点检测算法是目前比较常见的角点提取算法。但应用该算

法提取轮廓特征,步骤繁琐,计算量大,因此,作者对 Harris 角点检测算法进行了改进,提高了算法的鲁棒性。

1 Harris 角点检测算法

Harris 算法^[4]的前身是 Morave 算法。Morave 提出的角点检测公式为:

$$E(u, v)|_{(x, y)} =$$

收稿日期:2006-07-14.

基金项目:博士后科学基金资助项目(20060400827);“863”国家高技术研究发展计划项目(2003AA735084).

作者简介:刘富(1968-),男,副教授,博士. 研究方向:计算机视觉及生物识别技术. E-mail:liufu@jlu.edu.cn

$$\sum w(x, y)[I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2 \quad (1)$$

式中: E 为在点 (x, y) 处移动一个 (u, v) 小窗口所发生的亮度变化值; $w(x, y)$ 为高斯平滑因子。

式(1)的本质是二维信号的自相关。将式(1)进行泰勒级数展开得

$$E(u, v) |_{(x, y)} = \sum_{u, v} w_{u, v} [xI_x + yI_y + o(x^2 + y^2)]^2 \quad (2)$$

式中: $I_x = \frac{\partial}{\partial x} f(x, y)$, $I_y = \frac{\partial}{\partial y} f(x, y)$ 分别代表图像中该点在水平、竖直方向上的导数。

忽略掉式(2)的高阶项,将其写成二次型

$$E(u, v) |_{(x, y)} \approx [u, v] \mathbf{M} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{式中: } \mathbf{M} = \sum_{x, y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

将 \mathbf{M} 相似对角化处理后得

$$\mathbf{M} \rightarrow \mathbf{R}^{-1} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \mathbf{R}$$

求取矩阵 \mathbf{M} 的特征值 λ_1 和 λ_2 。由于矩阵 \mathbf{M} 具有旋转不变性, λ_1 和 λ_2 与像素点的灰度曲率成正比,若最小特征值大于某一给定的阈值,则确定其为角点。

Harris 算法需要确定阈值、高斯函数的方差及常变量 k 。当图像大小为 $M \times M$,计算导数的窗口尺寸为 $N \times N$,高斯滤波的窗口尺寸为 $L \times L$ 时,该算子的复杂度为 $M^2(2N^2 + 3L^2 + 7)$,算法速度较慢。

2 对 Harris 角点检测算法的改进

在 Harris 算法中,矩阵 \mathbf{M} 的特征值与像素点在 x, y 方向上的一阶导数 I_x, I_y 密切相关^[5]。边缘区域仅在水平或竖直方向有较大的变化量,即 I_x, I_y 只有一个较大;平坦区域在水平、竖直方向的变化量均最小,即 I_x, I_y 都较小;角点区域在水平、竖直方向的变化量均较大,即 I_x, I_y 都较大。根据这一特征对角点检测算法进行改进。

所要提取的掌纹轮廓特征点(图 1)均落在掌纹轮廓上手指之间的凸凹边缘上,这些凸凹边缘是由一些直线和在某一范围内变化的斜坡边缘构成。在图像中,第三行与第一行间的差接近于 y 方向上的导数,第三列与第一列的差接近于 x 方向上的导数,可依据此特点设计如图 2 所示的两

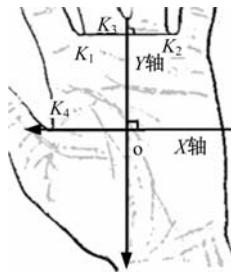


图 1 掌纹中的坐标定位点

Fig. 1 Coordinate point of palmpoint

$$\mathbf{dx} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{dy} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, Z = \begin{bmatrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ z_4 & z_5 & z_6 \\ z_7 & z_8 & z_9 \end{bmatrix}$$

图 2 横板 \mathbf{dx}, \mathbf{dy} 和区域 Z

Fig. 2 \mathbf{dx}, \mathbf{dy} and Z

个模板 \mathbf{dx}, \mathbf{dy} ,对于任意一个 3×3 的图像区域 Z ,定义其中心点 z_5 在 x, y 方向上的导数 I_x, I_y 分别为

$$I_x = Z * \mathbf{dx} = (z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7) \quad (4)$$

$$I_y = Z * \mathbf{dy} = (z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3) \quad (5)$$

我们所输入的图像是经过细化处理后手掌的边缘图像,它是连续的单像素点组成的一条闭合曲线,其灰度值只有 0 和 255。可以定义黑色的边缘点为响应点 1,白色背景为非响应点 0,则当 Z 区域里没有响应点存在(即全为白色背景)时, $I_x = I_y = 0$ 。

根据离散卷积性质,可以先将 Z 模板分解为 9 个模板 $Z(i)$ ($i = 1, 2, \dots, 9$) 之和, $Z = \sum_{i=1}^9 Z(i)$ 。其中, $Z(i)$ 代表 3×3 图像区域 Z 中 z_i 点是否为响应点(黑或白),其余点均为非响应点(白)。

若第 i 点不是响应点,则

$$\begin{cases} I_{x_i} = 0 \\ I_{y_i} = 0 \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, 9)$$

若第 i 点是响应点,分别计算其 I_{x_i}, I_{y_i} 得

$$\begin{cases} I_{x_1} = -1 \\ I_{y_1} = -1 \end{cases} \quad \begin{cases} I_{x_2} = 0 \\ I_{y_2} = -1 \end{cases} \quad \begin{cases} I_{x_3} = 1 \\ I_{y_3} = -1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{x_4} = -1 \\ I_{y_4} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} I_{x_5} = 0 \\ I_{y_5} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} I_{x_6} = 1 \\ I_{y_6} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{x_7} = -1 \\ I_{y_7} = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} I_{x_8} = 0 \\ I_{y_8} = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} I_{x_9} = 1 \\ I_{y_9} = 1 \end{cases}$$

当 Z 模板内的单像素响应直线 L 由响应点 $Z(i), Z(j), Z(k)$ 构成时, I_x, I_y 可表示如下

$$\begin{aligned} I_x &= Z * dx = \sum_{i=1}^9 Z(i) * dx = \\ &Z(i) * dx + Z(j) * dx + Z(k) * dx = \\ &I_{x_i} + I_{x_j} + I_{x_k} \quad (6) \\ I_y &= Z * dy = \sum_{i=1}^9 Z(i) * dy = \\ &Z(i) * dy + Z(j) * dy + Z(k) * dy = \\ &I_{y_i} + I_{y_j} + I_{y_k} \quad (7) \end{aligned}$$

若 Z 内有响应点存在, 则设定响应点在 Z 模板内所构成的单像素的响应直线 L 的走势角度 θ 为

$$\theta = \frac{\sum_{i=0}^n \theta_n}{n} \quad (n > 0) \quad (8)$$

式中: θ_n 为 Z 中第 n 点与第 $n+1$ 点构成的直线与水平方向的夹角; n 为在 Z 中响应点的步长(当 Z 中有 2 个连续点时, 步长为 1, 有 3 个连续点时, 步长为 2)。

θ 体现了在小范围内的图像区域 Z 中所出现的线 L 的倾斜角。 θ 的大小与 I_x, I_y 的取值相关。利用穷举法可推导响应直线 L 在第一象限内(即 $\theta \in 0 \sim \pi/2$)的走势角度 θ 与 I_x, I_y 取值大小的关系为

$$\left\{ \begin{array}{ll} |I_x| > |I_y| & \theta \in (\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}] \\ |I_x| = |I_y| & \theta \in \frac{\pi}{4} \\ |I_x| < |I_y| & \theta \in [0, \frac{\pi}{4}) \end{array} \right. \quad (9)$$

同理将 θ 扩展到 $0 \sim 2\pi$ 时, 得出 θ 与 I_x, I_y 的关系为

$$\left\{ \begin{array}{ll} |I_x| > |I_y| & \theta \in \left\{ \left[\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4} \right] \cup \left[\frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4} \right] \right\} \\ |I_x| = |I_y| & \theta \in \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4} \\ |I_x| < |I_y| & \theta \in \left\{ \left[\frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4} \right] \cup \left[\frac{7\pi}{4}, \frac{\pi}{4} \right] \right\} \end{array} \right. \quad (10)$$

根据这一关系可以设计提取轮廓特征点的算法, 其步骤如下:

(1) 定义角点函数为

$$C = \frac{1}{I_y^2 - I_x^2} \quad (I_x^2 \neq I_y^2) \quad (11)$$

当 $C > 0$ 时, 由式(9)可知 $|I_x| > |I_y|$, 则所检测的

特征点所构成的响应直线 L 的走势角 θ 在 $\left(\frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}\right)$ 或 $\left(\frac{7\pi}{4}, \frac{\pi}{4}\right)$ 内变化, 并且 C 值越大, I_x 越趋近于 I_y , 则模板 Z 中的响应直线 L 的走势越趋近于 $\frac{i}{4}\pi$ ($i=1, 3, 5, 7$) 这几个角度; 反之, 则模板 Z 中的响应直线 L 的走势在 $\left(\frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}\right)$ 或 $\left(\frac{7\pi}{4}, \frac{\pi}{4}\right)$ 内变化。

(2) 求出图像中每个点 (x, y) 的角点值 C 后, 寻找 5×5 邻域内满足最大角点值 $\max C > 0$ 的点, 将其定为候选特征点。

(3) 将候选特征点按 x 坐标值的大小从小到大进行排序: $P[0] < P[1] < P[2], \dots, < P[n]$ 。

(4) 将候选特征点聚集于手指之间的凹边缘及指尖的凸边缘上。要寻找的特征点位于凹边缘上, 可取出图像凹边缘区域, 再根据手指的宽度设定阈值 T , 将每一个凹区域的所有候选点定义为一个特征点数组。若满足 $|P[i+1] - P[i]| < T$, 则为同一组特征点数组; 否则为下一数组的起点。

(5) 对每个特征点数组内的 y 坐标值进行比较, y 最大的值(由于图像的坐标是建立在图像的左上角)即为我们要求的最凹点。

3 实验结果及分析

在自然光照条件下采集到的原始图像如图 3(a)所示, 图像尺寸为 640×480 像素。对采集到

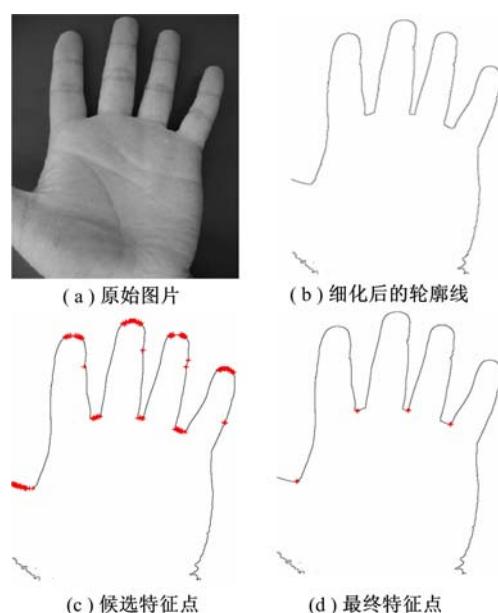


图 3 轮廓特征点的提取

Fig. 3 Detection of contour characteristic points

的原始图像设计分割算法,实现掌纹区域与背景的分离;然后用灰度形态学梯度提取掌纹轮廓,将其细化,结果如图3(b)所示。

对细化后的轮廓线求其角点函数值C。在C>0的情况下,求取候选角点,如图3(c)所示。对候选角点的x坐标值排序,确定角点数组。再求取每个角点数组y的最大值,这个最大值点就是我们所要提取的角点,也就是掌纹定位的特征点,如图3(d)所示。另外,通过采集80幅掌纹图片做实验,用上述算法能精确提取最终轮廓特征点的图片为79幅,准确率达到98.75%。可见,用该方法提取特征点,具有快速准确的特点,为掌纹识别的快速性和准确性打下了坚实的基础。

为了验证该算法的实用范围,将该算法应用于五角星形和一些积木图像,如图4(a)所示。它们在满足条件C>0(即|I_y|>|I_x|)的条件下的检测结果如图4(b)所示,检测到的特征点不仅包含了各顶角区域的点,还包含了与水平线偏角在上下π/4这一范围内的直线边缘上的点。也就是说,对于图像中满足如图5所示阴影部分的边缘直线,即过O点,且落在图中阴影部分的直线上的点,都可以使用本算法进行轮廓特征点的定位和提取。结果与前面的推论相符。

该算法不仅适用于检测图像中的凸凹区域,解决了掌纹识别中特征点的提取问题;还适用于检测图像中偏角在某一角度内的直线边缘点。

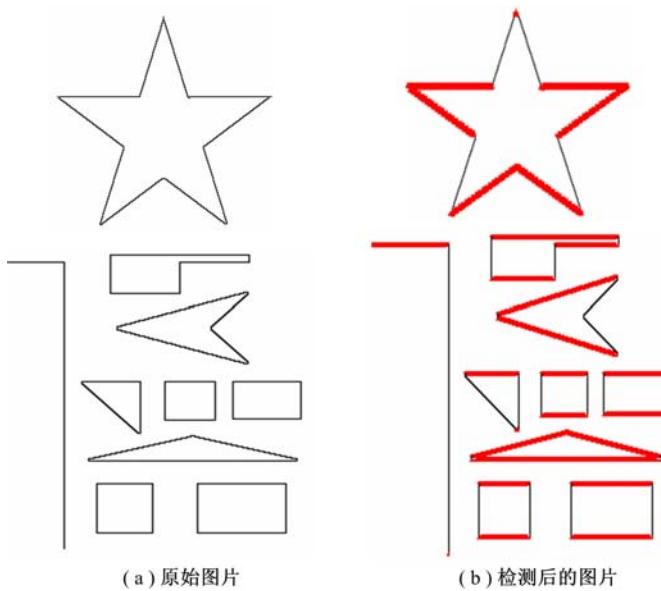


图4 实验图片

Fig. 4 Picture of experiment

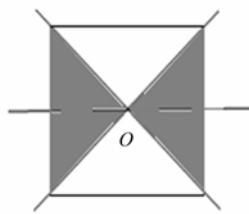


图5 偏角范围

Fig. 5 Range of angle

4 结束语

对掌纹图像中的轮廓特征点的提取进行了新的、有目的的探索,对Harris角点检测算法进行了改进,从而能够有效快速地提取轮廓特征点。所提出的特征点提取算法避免了传统角点检测算法中需要人为确定阈值等繁琐步骤,减少了计算量。对候选角点进行分组且每组只取一个特征点,确保了最终特征点的存在性,提高了算法的鲁棒性。为掌纹识别中掌纹定位问题的解决提供了一个简单而有效的方法。

参考文献:

- [1] Pankanti S, Bolle R M, Jain A K. Biometrics: the future of identification[J]. IEEE Computer, 2000, 33(2):46-49.
- [2] Zhang D. Online palmprint identification[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(9): 1041-1050.
- [3] 戴青云,余英林,张大鹏.掌纹身份识别系统里的定位分割技术[J].广东工业大学学报,2002,19(1):1-6.
Dai Qing-yun, Yu Ying-lin, Zhang Da-peng. The Orientation and segmentation technologies in palmprint based identification systems [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2002, 19(1): 1-6.
- [4] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector [C] // 4th ALVEY Vision Conference, USA: Springer-Verlag, 1988: 147-151.
- [5] 秦钟,徐建闽,史胜利,等.基于字府角点信息的车牌定位方法[J].华南理工大学学报:自然科学版,2006,34(4):70-74.
Qin Zhong, Xu Jian-min, Shi Sheng-li, et al. Location of license plate based on character corner information[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition), 2006, 34(4): 70-74.