

# 非接触成像手指节纹检测算法<sup>①</sup>

苑玮琦, 咸 阳

(沈阳工业大学 视觉检测技术研究所, 沈阳 110870)

**摘 要:** 指节纹因具有唯一性而成为身份认证的方法之一, 现有的文献主要基于小波多分辨率分析原理提取指节纹分布信息, 而本文给出了一种针对指节纹间相对位置关系进行检测的方法: 首先对自建图库中大拇指向外张开、四指闭合的手掌图像, 利用 Step 边缘检测的预处理方法定位出关键的指尖、指根点, 然后将整幅手掌图像旋转至水平位置, 以便于比较指节纹的相对位置分布关系, 最后针对除大拇指之外的四个手指, 利用 Roof 边缘检测的方法确定指节纹特征点. 为了验证本文的方法, 利用自建小型图库进行测试, 结果表明正确检测率可达 98.035%, 验证了该方法的可行性和有效性.

**关键词:** 四指闭合; 指尖点; 指节纹; 边缘检测

## Extraction Method for Non-contact Finger Phalangeal Prints

YUAN Wei-Qi, XIAN Yang

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

**Abstract:** Finger phalangeal prints become one of the authentication methods due to its uniqueness. Existing literatures are mainly based on the principle of wavelet multi-resolution analysis to extract the finger phalangeal prints distribution information. But the paper presents a detection method for the relationship between the relative positions of finger phalangeal prints. For self-built gallery of thumb outwardly open, four fingers closed hand images, the first step is to find out the fingertips and finger valley points by using the Step edge detection pretreatment methods. Then the whole image is rotated to a horizontal position in order to compare the relative positions of finger phalangeal prints. Finally, we can find out the horizontal coordinate position of finger phalangeal prints in four fingers except the thumb by using the Roof edge detection method. In order to verify the proposed method, the use of self-built small natural gallery display test results showed that the extraction rate is up to 98.035%, indicating that the method is feasible and effective.

**Key words:** four fingers closed; fingertips; finger phalangeal prints; edge detection

基于生物特征的身份认证技术由于其稳定、便捷、不易伪造等优点而备受青睐, 目前应用于此领域的生物特征有指纹、人脸、掌纹、等, 然而各种身份认证技术在用户亲和力、成本和性能方面各有优缺点, 因此探索新的生物特征识别方法仍是该领域的重要研究任务<sup>[1]</sup>. 指节纹是在手指前表面上仅次于指纹的显著特征, 纹线方向相对统一, 具有稳定且对于不同的人具有不同的位置和结构特征<sup>[2]</sup>, 越来越多的生物识别技术将指节纹作为重要的认证手段, 应用于不同背景的识别技术中<sup>[3-5]</sup>. 目前, 基于指节纹特征的生物识别技术中, 罗荣芳等<sup>[3,4]</sup>

提出了一种基于 Radon 变换和奇异值分解的指节纹身份识别方法, 主要提取手指的第一和第二折痕线的特征; 李强等<sup>[5]</sup>则提出了基于 Gabor 滤波、互相关点匹配及决策级分数融合的指节纹识别方法, 提取的是中指第二节指节纹; 竺乐庆等<sup>[6]</sup>利用余弦函数计算指节纹特征向量之间相似度, 进而实现特征的匹配; 毛贤光等<sup>[7]</sup>基于小波多分辨率分析原理, 利用八邻域的曲率对指节纹定位, 提高了系统的鲁棒性.

以上方法基本是接触式的, 用卡槽、支撑板等方法固定手掌位置, 容易细菌感染, 不易被用户接受<sup>[8]</sup>; 由

<sup>①</sup>基金项目: 国家自然科学基金(60972123); 沈阳市科技计划项目(F12-277-1-10)

收稿日期: 2013-12-16; 修订日期: 2014-03-03

于每次采集到的图像都是部分手掌图像，所以不易和其他手部特征相融合；图像的比例缩放和手掌旋转角度问题会造成纹理分布信息的变化，影响投影匹配的识别率。针对以上问题，本文提出了一种在非接触式采集装置的拍摄环境下，对全手掌图像进行处理，检测大拇指之外其它四个手指的指节纹坐标的相对位置信息。

### 1 手指关键点的检测

本文采用距离摄像头大概 25CM 的非接触式图像采集方式，要求大拇指向外张开、四指闭合、手指指尖方向向左的左手全手图像，手掌与摄像头平行，图像背景为黑色，图像分辨率为 640\*480，如图 1 所示。

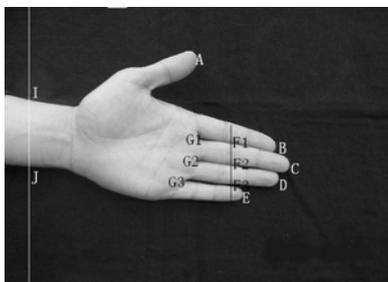


图 1 手掌图像

手指关键点的检测是基于方向梯度极值的手掌轮廓跟踪方法<sup>[9,10]</sup>实现轮廓线的提取，从而确定需要的四个指尖点和四个指根点。本文手指关键点检测方法的流程图如图 2 所示：1)首先定位手掌轮廓的上、下起始点(I、J)；2)依据手掌轮廓的走向在局部区域内确定出候选的轮廓点,用适当的梯度卷积模板计算出候选像素点中垂直于边缘方向上梯度最大的点，并逐点跟踪梯度最大值点，得到灰度图像的轮廓，利用适当的终止条件得出四个手指的指尖点(B、C、D、E)；3)通过屋脊边缘检测的方法找到三个指缝点(F1、F2、F3)，从指缝点向左逐点跟踪，采用适当的终止条件得到三个指根点(G1、G2、G3)；4)以中指为基准水平线将整幅图片进行旋转；5)重新定位指尖、指根点。

#### 1.1 确定轮廓线的上、下起始点

首先在灰度图像左侧，为了避免手腕处可能有衣袖的干扰，采用距离图像左侧一定像素距离进行搜索，如图 1 的白线的位置即为候选起始位置线，采用 step 边缘检测文献<sup>[10-11]</sup>的方法，在图 1 中的白色竖线上从上往下搜索判断，由于处于手腕边缘处的像素点灰度级变化明显，边缘检测算子在图像灰度值迅速变化的点

会得到较高的值，且灰度值变化越大，该点所得到的值越大，因此本文在手腕边缘检测的时候采取一个竖直方向的边缘检测模板，如图 3 中模板，逐点与候选起始位置线上的像素做卷积运算，卷积所得的值即为图像中与模板中心元素对应的像素点在竖直方向上的梯度，由于手掌部分的灰度值大于背景黑色的灰度值，那么梯度值最小值即为上轮廓起始位置点 I，梯度值最大值即为下轮廓起始位置点 J。



图 2 算法流程图

图 3 模板

#### 1.2 上、下手掌轮廓线的跟踪过程

本文在跟踪过程中采用 Step 线跟踪方法<sup>[10,11]</sup>，以提取大拇指指尖 A 为例，如图 1 所示：1)、确定跟踪的起始点 I；2)、确定跟踪的第二点，由于指尖点 A 在点 I 的右侧，因此下一点有图 4 所示的三个点作为跟踪的候选点，利用图 3 中的模板将这三个像素点分别求卷积，所得的值对应的像素点在竖直方向上的梯度值，选取梯度最大值处的点为跟踪的第二边缘点，作为新的当前点，此时 I 点作为上一点；3)、由当前点和上一点可以确定一个可能的候选跟踪方向和跟踪点，利用跟踪规则最终确定下一个跟踪方向及跟踪点，这个跟踪点作为新的当前点，依次往下跟踪；4)、确定跟踪终止条件，当跟踪到某一点已满足终止条件时，停止跟踪。

跟踪规则：根据不同的下一步跟踪方向采用对应卷积模板进行计算，如图 5：根据前一步的走向,即当前方向,确定下一步的可能走向(如图 4 所示的 3 个可选方向)。下一步走向的三个可选方向分别为当前方向以及对应于 8 个方向码(如图 5 所示)中的当前方向的两个邻接方向。例如:若当前方向为 0,则下一步的可选方向为 7、0、1;若当前方向为 2,则下一步的可选方向为 1、2、3;其余同理。对 3 个可能走向分别以从当前点沿该方向

前进一点作为候选点,得到 3 个候选点,将每个候选点对应于卷积模板的中心元素求卷积. 模板的选取是根据从当前点到该候选点的方向(称为候选方向)确定的,每个不同的候选方向对应于不同的卷积模板进行计算. 若候选方向为 0 或 4, 选用 0°方向模板; 若候选方向为 3 或 7, 用 45°方向模板; 若候选方向为 2 或 6, 用 90°方向模板; 若候选方向为 1 或 5, 用 135°方向模板(各方向卷积模板如图 6 所示); 当某一候选点位于手形轮廓真实边缘时, 其垂直于边缘方向的梯度在下图 4 中的三个候选点中应呈现出最大值, 因此选择梯度绝对值最大的点以及该点对应的方向作为下一轮的跟踪点及跟踪方向.

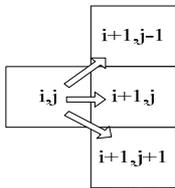


图 4 候选点示意图

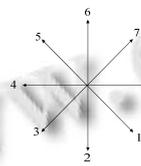


图 5 方向码示意图

0 1 1 1 0	0 1 1 0 0	0 0 0 0 0	0 0 1 1 0
0 1 1 1 0	1 1 1 0 0	1 1 0 -1 -1	0 0 1 1 1
0 0 0 0 0	1 1 0 -1 -1	1 1 0 -1 -1	-1 -1 0 1 1
0 -1 -1 -1 0	0 0 -1 -1 -1	1 1 0 -1 -1	-1 -1 -1 0 0
0 -1 -1 -1 0	0 0 -1 -1 0	0 0 0 0 0	0 -1 -1 0 0

(a)0°方向 (b)45°方向 (c)90°方向 (d)135°方向

图 6 四个方向的卷积模板

终止条件: 由于整个手掌轮廓跟踪方向向右, 因此当有某一点的横坐标值达到此区域范围内的最大值时, 说明轮廓线已经有向左跟踪的趋势, 此时停止跟踪, 横坐标的最大值点即为所跟踪到的指尖. 跟踪后的结果如图 7 所示.

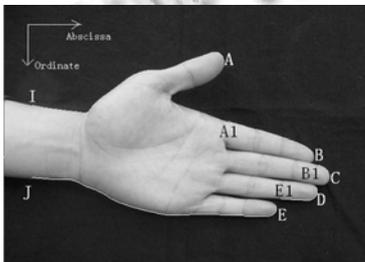


图 7 跟踪后的轮廓线

### 1.3 定位五个指尖点

1) 大拇指指尖点的提取: 从手腕处 I 开始向右跟

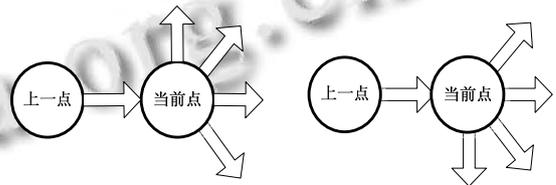
踪, 其中采取图 8(a)中四个方向进行跟踪, 由于在上轮廓跟踪的过程中, 在跟踪达到大拇指的最高点时则需要向下跟踪, 而采用图 8(a)的跟踪方向, 则避免了向下跟踪的过程, 此时这一点的坐标已经在横坐标上达到最大值, 停止的点即为大拇指指尖点 A. 以下食指和中指的指根点停止跟踪过程同理.

2) 食指指尖点的提取: 从大拇指点 A 竖直向下进行搜索, 找到与点 A 在同一横坐标的手轮廓边界点 A1, 从这一点作为起始点进行向右跟踪, 采取图 8(a)中四个方向进行跟踪, 停止的点即为食指的指尖点 B.

3) 中指指尖点的提取: 在中指的轮廓边界上找到与指尖点 B 横坐标相同的边界点 B1, 从 B1 点作为起始点进行向右跟踪, 采取图 8(a)中四个方向进行跟踪, 当停止的点即为中指的指尖点 C.

4) 小拇指指尖点的提取: 从手腕点 J 开始向右跟踪, 其中采取图 8(b)中四个方向进行跟踪, 由于在下轮廓跟踪的过程中, 在跟踪达到小拇指的最右端点时则需要向上跟踪轮廓线, 而采用图 8(b)的跟踪方向, 则避免了向上跟踪的过程, 停止的点即为小拇指点 E. 无名指指尖点的停止跟踪过程同理

5) 无名指指尖点的提取: 在无名指的轮廓边界上找到与指尖点 E 横坐标相同的边界点 E1, 从 E1 点作为起始点进行向右跟踪, 采取图 8(b)中四个方向进行跟踪, 当停止的点即为无名指的指尖点 D.



(a) 上跟踪方向 (b) 下跟踪方向

图 8 轮廓线的跟踪方向

### 1.4 定位三个指根点

在上文描述的图库中, 小手指横坐标向左 30 个像素的位置的竖线上(图 1 的竖直黑线)定义为搜索区域, 通过 Roof 线跟踪<sup>[11]</sup>的方法找出三个梯度最大值点 F1、F2、F3, 如图 9 所示, 即为三个指缝点跟踪的起始位置. 在三个指缝点的起始位置 F1、F2、F3 处逐点向左找出区域内的梯度最大值, 针对上文图库, 通过实验验证当梯度最大值小于 25 时停止, 否则继续向左跟踪, 跟踪停止的点即为指根点(G1、G2、G3), 跟踪结果如图 9

所示.

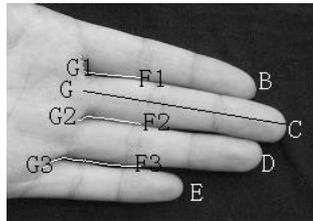


图 9 指根点的跟踪图

### 1.5 旋转图像及重新定位关键点

实现方法: 找到如图 9 所示的指根点 G1 和 G2 的中点 G, 以 G 和中指指尖点 C 所形成的直线(如图 7 中 G-C)为基准水平线, 将整幅图片进行旋转. 旋转图像的目的是下一步方便比较指节纹的相对位置关系, 图 10 所示为旋转后的图像, 接着将图像中的关键点依照图像的旋转过程进行重新计算, 并且在手轮廓线上分别找出与 G1、G3 横坐标相同的指根点 G0、G4.



图 10 旋转后的图像

## 2 指节纹的检测

### 2.1 指节纹的定义及其特点

指节纹是手掌十指每节承接处一两条粗而明显的横纹<sup>[12,13]</sup>. 目前对于指节纹的定义还没有统一的标准<sup>[14]</sup>, 本文将指节纹划分为三个部分, 其中包括第一节指节纹、第二节指节纹和第三节指节纹, 如图 11 所示.

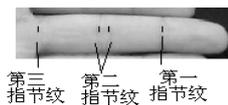


图 11 指节纹的定义

通过对采集后样本的观察, 规定在第一节指节纹处检测一个指节纹点, 在第二节指节纹处检测两个相距最远的指节纹点, 在第三节指节纹处检测一个靠近指根处

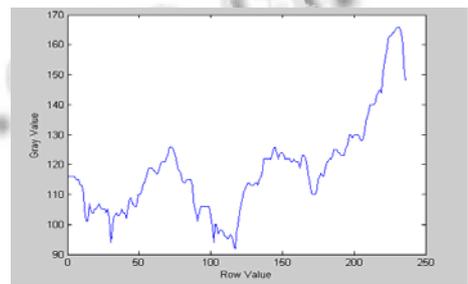
的指节纹点. 本文只针对食指、中指、无名指和小指的指节纹特征点进行提取, 由于大拇指姿势变化较大, 本文不作为特征予以考虑.

### 2.2 指节纹的检测方法

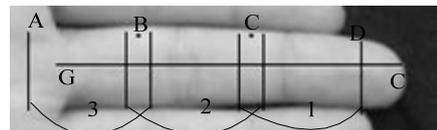
指节纹的检测方法具体如下: 1) 定义搜索主线; 2) 确定横向搜索区域范围; 3) 确定纵向搜索区域范围. 4) 确定每个区域中搜索直线的梯度最大值点; 5) 确定每个区域中的指节纹点. 以中指图像为例说明.

搜索主线的定义: 将手指的指根点 G1、G2 的中点 G 和指尖点 C 作为搜索主线.

横线搜索区域范围的确定: 将直线 G-C 部分进行灰度级剖面图处理, 结果如图 12(a)所示, 可以看出在搜索的区域上有三个明显凹进的部分, 每个凹进的部分是由于一段灰度值极小值点所形成, 也就是上文定义三个指节纹的位置, 因此本文将整个手指分为三个区域, 为了指节纹的位置在划分后能后落入各自区域接近中间的部分, 在本文的图库中, 具体划分方法为, 首先点 G、C 依次向左移动 10 个像素点形成新的搜索区域 A-D, 之后将 A-D 进行三等分, 三等分点分别为 B、C, 考虑到每两个相邻的指节纹特征点的距离是不均等的, 因此每个部分进行搜索的时候, 在上文所述的图库中, 在三等分点处依次往两端扩大 5 像素点的位置, 以防止相邻的指关节点距离不均等导致的指节纹搜索失败, 最终形式如图 12(b)所示三个搜索区域.



(a) 主线部分的灰度级剖面图



(b) 手指搜索区域的定义

图 12 中指的搜索区域范围及其灰度级剖面图

纵向搜索区域范围的确定: 在单一直线上搜索指节纹, 会由于像素点值突变而导致检测失败, 因此采用

搜索主线及其上下 8 邻域像素行, 共计 17 行的搜索直线为纵向搜索范围, 如图 13 所示, 其中当前行即为搜索主线。

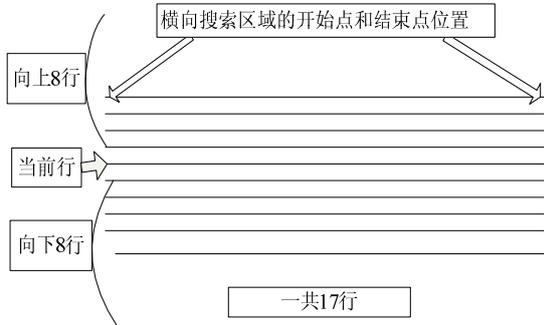


图 13 区域搜索范围示意图

搜索直线的梯度最大值点的确定方法: 指节纹处的灰度值较低, 而其左、右两侧邻域内的点灰度值较高, 因此满足 Roof 边缘特征<sup>[11]</sup>, 通过实验分析指节纹宽度在 3 个像素左右, 因此梯度计算模板宽度选择为 3。在搜索直线上, 利用梯度计算模板如图 14 所示, 采用公式 1、2、3 从左至右搜索, 其中为横坐标为纵坐标为点的灰度值, 比较梯度值, 的最小值为, 将该搜索直线的值逐点进行比较, 其中最大值即为梯度最大值点, 此时点即可能在指节纹上。

$$sum(i) = img(i-1, j) + img(i, j) + img(i+1, j) \quad (1)$$

$$T1 = sum(i-3) - sum(i) \quad (2)$$

$$T2 = sum(i+3) - sum(i) \quad (3)$$

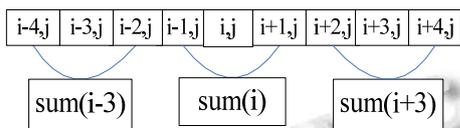


图 14 梯度计算模板

确定每个区域的指节纹点: 在每一个横向搜索区域内的搜索直线上会找出一个梯度最大值点, 一共 17 个点, 在这 17 个点中统计其横坐标集中所在的位置, 横坐标值之差在 2 以内的点定义为该点相邻点, 统计这 17 个梯度最大值的相邻点, 其中拥有相邻点最多的点即为指节纹点。

经过以上综合分析, 在除大拇指以外的其余四指上检测出定义的指节纹点, 为了便于察看, 先将检测出指节纹上的点上下拓宽 2 个像素值, 指节纹检测后的图像如图 15 所示。

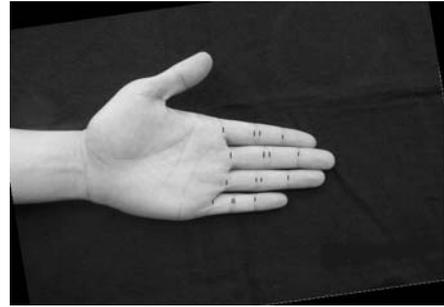


图 15 指节纹检测后的效果图

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 检测正确率

本文采用实验室自己拍摄图库, 随机选取 70 人(每人 10 幅全手掌图像, 每个手掌图像进行 16 个特征点检测, 如图 15 所示)进行指节纹特征点的检测。根据指节纹的定义, 能够准确定位出每个指节纹的横坐标位置点, 即为检测成功, 偏离了指节纹线所在横坐标位置两个像素以外或者没有检测出指节纹横坐标即为检测失败。检测率的计算公式如式(4)所示。

$$ER = \frac{Nc}{Ns} \times 100\% \quad (4)$$

其中, ER 为检测率, Ns 为实验样本总数(本文检测点为 70\*10\*16=11200), Nc 为检测成功的检测点数(本文为 10980)。计算得到检测率为 98.035%。其中检测失败的主要原因是指节纹线过浅和非指节纹横线干扰。

### 4 结论

本文提出了一种在非接触状态下手指节纹特征点的检测方法, 该方法能够直接在灰度图像上准确定位出需要的指尖、指根点, 进而确定除大拇指之外的四个手指的指节纹横坐标相对位置, 有效避免了由于阈值选取不当而造成的轮廓提取不准确的问题, 该方法检测的特征数据量小, 为 16 个坐标相对位置, 并且有效克服了图像比例缩放、旋转造成的影响。另外, 非接触式采集图像的卫生和安全性更容易让人接受, 通

过实验验证该方法的正确率高达 98.035%。下一步将继续完善本文方法, 解决因指节纹线过浅和手指上非指节纹横线干扰所产生的问题。今后我们将结合以前所做的手形和掌纹识别方面的工作, 使指节纹、手形与掌纹特征相结合, 组成一套完整、精确、高效的基于手部生物特征的身份识别系统。

## 参 考 文 献

- 1 Jain AK, Ross A, Prabhakar S. An introduction to biometric recognition. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004, 14(1): 4–20.
- 2 Takeda M, Uchida S, Hiramatsu K, Matsunami T. Finger image identification method for personal verification. *Proc. of the 10th International Conference on Pattern Recognition*. Atlantic, USA. IEEE. 1990. 761–766.
- 3 罗荣芳,林土胜,吴霆.基于人体手指指节折痕的身份识别方法. *光电工程*,2007,34(6):116–121.
- 4 罗荣芳,林土胜.基于投影和小波分析的手指指节折痕纹识别算法. *计算机工程*,2008,34(5):216–218.
- 5 李强,裘正定,孙冬梅,等.指横纹:一种新的生物身份特征. *自动化学报*,2007,33(6):596–601.
- 6 竺乐庆,张三元,幸锐.基于指节纹的个人身份自动识别. *自动化学报*,2009,35(7):875–881.
- 7 毛贤光,赖晓铮,赖声礼,等.基于小波多分辨率分析的指横纹定位新算法. *计算机研究与发展*,2009,46(4):629–636.
- 8 苑玮琦,董康.非接触式掌纹图像采集装置的研究. *微型机与应用*,2010,1:15–19.
- 9 磨少清,刘正光,张军,等.基于图像自身信息的图像边缘检测阈值自动设定方法. *光电子激光*,2011,(8):1246–1250.
- 10 苑玮琦,董茜,桑海峰.基于方向梯度极值的手形轮廓跟踪算法. *光学精密工程*,2010,18(7):1675–1683.
- 11 苑玮琦,王楠.基于局部灰度极小值的掌脉图像分割方法. *光电子激光*,2011,22(7):1091–1096.
- 12 Gu J, Zhou J, Yang C. Fingerprint Recognition by Combining Global Structure and Local Cues. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2006, 15(7): 1952–1964.
- 13 Zhang L, Zhang L, Zhang D. Finger-knuckle-print verification based on band-limited phase-only correlation. *Computer Analysis of Image and Patterns*. 2009, 5702: 141–148.
- 14 Maio D, Mltoni D, CppeLLi R, Wayman JL, Jain A. FVC2000: fingerprint Verification Competition. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(3): 402–412.