

文章编号 1004-924X(2010)07-1675-09

基于方向梯度极值的手形轮廓跟踪算法

苑玮琦, 董 茜, 桑海峰

(沈阳工业大学 视觉检测技术研究所, 辽宁 沈阳 110870)

摘要: 针对受自然光照影响的手形图像难以准确提取手形轮廓的问题, 本文基于手形边界像素在垂直于边界方向上存在灰度突变的特性, 提出了一种基于方向梯度极值的手形轮廓跟踪算法。该算法首先找到手形轮廓的起始点, 然后按照一定的搜索方向和规则, 在局部区域内计算候选点集中梯度极大值所在的点, 并逐点跟踪极大值点, 得到手形轮廓。将该方法在实验室自采图库及香港科技大学(HKUST)的手形图像库两个数据库中进行轮廓跟踪实验, 结果显示, 自采图库的跟踪准确率为 100%, 香港科技大学手形图像库的跟踪准确率为 85.8%, 该库中符合本文算法限制条件的图像的跟踪准确率为 99.4%。实验结果表明, 该方法能在灰度图像上直接跟踪出准确、连续、完整的手形轮廓, 尤其适合于受光照不均影响的手形图像的边缘提取。

关键词: 手形; 边缘检测; 轮廓跟踪; 灰度梯度

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101807.1675

Hand shape contour tracking method based on directional gradient extremum

YUAN Wei-qi, DONG Qian, SANG Hai-feng

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

Abstract: Hand contours are hard to be extracted correctly when hand images are illuminated by a un-symmetrical light. Therefore, this paper proposes a contour tracking algorithm based on the directional maximal gradient value according to the characteristic that values of edge pixels turn sharply in the vertical direction of an edge. The algorithm firstly finds the starting point of hand contour, then depending on some searching rules, it calculates the gradient values of candidate points in a local region, chooses the point whose gradient value is maximal in the candidate set of local region and tracks it point by point to get the final contour. Tracking experiments are carried out on both the hand image database formed by ourselves and the HandImage database from Hong Kong University of Science and Technology(HKUST). Experimental results indicate that the accuracy of contour tracking is 100% in ourselves' database, and 85.8% in the database from HKUST. Moreover, the accuracy of contour tracking in the images eligible to our refined condition from HKUST database is 99.4%. These data show that the algorithm can directly track out the accurate, consecutive and integral hand contour in

收稿日期: 2009-09-07; **修订日期:** 2009-11-10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 60672078; No. 60972123); 辽宁省教育厅 2009 年度高等学校科研基金资助项目(No. 2009A561)

gray-level picture and it is suitable especially for the contour extraction of hand images affected by the unsymmetrical illumination.

Key words: hand shape; edge detection; contour trace; gradient

1 引言

在生物特征识别领域,手形识别以其采集方便、处理速度快^[1-2]、对设备要求不高、易与其它特征组合成多生物特征识别^[3-6]等优点而备受关注 and 重视,已成为一种极具发展潜力的生物特征识别技术。

手形识别是指对手部的外部轮廓所构成的几何图形进行识别,提取的特征为手的不同部位的尺寸^[1]或是手指边缘的轮廓点集^[7]。因此手形轮廓提取的准确程度对整个手形识别过程至关重要,直接决定了提取特征的准确性。

采用现有的手形提取方法获取完整准确的手形轮廓图形时,对采集设备的遮光和光线要求比较严格^[4-5],采集的大多是前景和背景灰度差异十分明显的不受光照影响的手形图像^[3-6],通过阈值二值化和图像滤波来获得较好的分割效果^[8-9]。但这些手形提取方法都局限于各自的图像条件,适用范围局限性大。如文献[10]为避免手指阴影的干扰,在采集时用了黑色背景,无光照影响,通过直方图阈值分割转化为二值图像,再用 sobel 算子提取手指边缘轮廓;文献[11-12]图像背景和前景差异明显,先对图像滤波、二值化,再进行轮廓跟踪。这些方法都是先通过阈值将图像二值化,再对二值化后的图像提取轮廓^[13],由于阈值是对各像素点的灰度值进行总体分类判决,因此分割效果并不理想,易出现边缘缺失和冗余现象。对于有实际光照影响的图像,这种方法更难提取出完整准确的手形轮廓。

在实际应用中往往不便于在采集图像时加入过多的限制条件,一是限制条件过多会使用户觉得不友好,甚至产生抵触情绪;二是这大大减小了手形识别/认证的适用范围,制约其发展。考虑到友好性、实用性和价格等因素,手形识别应尽量选用普通低成本设备,并尽量减少手形采集时的限制条件,但这就使得实际应用环境中采集的图像会不同程度地受到光照环境和采集设备的影响。如偏光导致的高光和阴影以及随着照明光源的位

置变化,极易在提取过程中造成手形轮廓的缺失和冗余^[8],而设备噪声也会给手形轮廓的提取造成很大的误差。因此,在这些图像条件下,原有的手形提取方法不再适用,需要寻找与之相适应的新的手形提取方法,以确保提取的特征受外界环境的干扰尽可能小。文献[14]采用了一种对有光照的图像先进行光照补偿^[15],再用局部阈值分割提取手形轮廓的方法。该处理步骤繁琐,提取的手形轮廓仍存在一定程度的缺失和冗余,且分割后仍需对剩余噪声点进一步去除。

针对实际环境中自然光照条件下拍摄的图像易受光照影响,而原有方法难以准确提取轮廓的问题,本文提出了一种基于方向梯度极值的手形轮廓跟踪算法,在灰度图像上直接跟踪手形轮廓。该方法利用手形边界像素在垂直于边界方向上存在灰度突变的特性,从手形轮廓起始点开始,通过计算局部区域内的候选点中梯度极大值所在的点,并逐点跟踪极大值点得到手形轮廓。分别应用该算法对实验室自采的手形图像库和香港科技大学提供的手形图像库进行实验,结果表明了该算法的有效性。

2 本文轮廓跟踪方法

在手形灰度图像中,位于手形边界轮廓处的像素,在垂直于边界方向上存在灰度级的迅速变化,且真实边界点在垂直于边界方向上的灰度梯度应为局部区域内各像素梯度的极大值,因此可以通过判断局部区域内各点灰度梯度的大小找到手形的真实边缘点。本文方法首先定位手形轮廓的起始点,然后依据手形轮廓的走向在局部区域内确定出候选的轮廓点集,用合适的梯度卷积模板计算出候选像素点集中垂直于边缘方向上梯度最大的点(此处的边缘方向是指:从上一轮廓点到该候选点的方向),并逐点跟踪梯度最大点,既可得完整的手形轮廓。

通过对大量图像的观察,发现位于手形边缘

处存在 3~4 个像素宽度的灰度过渡变化带,如图 1 所示。由于该过渡带的存在,手形边界处的像素并非在单像素宽度内呈现梯度的急剧变化,因此用简单的微分算子难以找到真实边缘。算法关键是:(1)找到合适的梯度卷积模板;(2)在手形边界的过渡带像素中确定出真实边界点的准则。若选取的梯度卷积模板过小,则受过渡带像素的影响大,易出现梯度极大值所在的点偏离手形轮廓的情况;而模板过大不仅会导致算法计算量大,而且对于手指间缝隙较小的图像,在跟踪至指跟处时,由于轮廓像素的方向变化较快,过大的模板窗口在此处卷积后的值表征垂直于轮廓方向梯度的能力减小,影响跟踪的准确性。因此梯度卷积模板的选取至关重要。本文通过用不同大小、不同方向的模板对大量图像进行实验验证得出:本文选用的 5×5 大小的 4 个方向的梯度卷积模板计算手形边缘像素的灰度梯度效果最优。

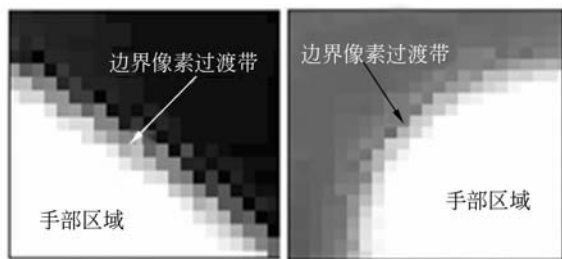


图 1 手形轮廓边缘像素

Fig. 1 Edge pixel of hand contour

本文均以手腕部位在图像右侧的右手图像为例阐述该算法,如图 2。



图 2 手形图像

Fig. 2 Hand picture

2.1 轮廓跟踪算法描述

2.1.1 确定轮廓跟踪起始点

本文算法设定轮廓跟踪起始点为图像最右列

的手腕上边缘点。位于手腕边缘处的像素点,灰度级存在明显变化,且真实边缘点处应有最大的灰度变化。微分边缘检测算子在图像灰度级迅速变化的点处得到较高的值,且灰度级变化越大,该点所得的值越大。因此本文用一个竖直方向的边缘检测模板(模板 1),逐点与图像最右列像素做卷积,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,梯度值最大且为正值点即为手形轮廓起始点。

若在定位轮廓起始点时,出现两个梯度值最大且为正值点的情况,则增大梯度模板,将模板上下各增加一个元素,用新模板对这两个梯度值最大且为正值点重新求取梯度值,若两点的梯度值仍相等,则继续增大模板,直至找到唯一的轮廓起始点。若出现两个以上梯度值相同的点,可用同样方法处理。

2.1.2 确定第二、第三轮廓点及轮廓走向

依据起始点位置,确定第二、第三轮廓点。本文轮廓跟踪顺序为:从起始点开始,沿逆时针方向,按照手形轮廓的自然走向逐点跟踪,直至跟踪到达图像右侧边缘,结束跟踪。因此第二轮廓点的候选点集为起始点 (i, j) 左侧的 3 个邻域像素点,如图 3 所示,3 个候选点为 $(i-1, j-1)$, $(i, j-1)$, $(i+1, j-1)$ 。由于此时候选像素点位于图像边界,若采用本文的 5×5 模板进行卷积,位于图像边缘处的像素不够容纳模板窗口的大小,因此不适宜用本文 5×5 模板求取梯度的方法确定第二轮廓点。故对第二轮廓点采用了如下求取方法:(1)依据公式(1)求得最大值 MAX 。(2)当公式(1)取得最大值 MAX 时,对应的像素点坐标 $(i+k, j-1)$ 为第二轮廓点。

$$MAX = \max\{abs[h(i+k, j-1) - h(i+k-1, j-1)]\} \quad (1)$$

$$k = -1, 0, 1$$

其中: $h(p, q)$ 为图像中第 p 行,第 q 列像素点的灰度值。

第二轮廓点确定后,依据第二轮廓点位置,用相同方法确定第三轮廓点,并将第三轮廓点作为当前点,将第二轮廓点到第三轮廓点的方向记录为当前方向。

2.1.3 轮廓跟踪规则

根据前一步的走向,即当前方向,确定下一步的可能走向(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 方向码

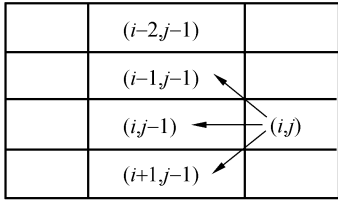


图 3 候选点示意图

Fig. 3 Candidates of next contour point

(如图 4)中的当前方向的两个邻接方向。例如：若当前方向为 4，则下一步的可选方向为 3、4、5；若当前方向为 5，则下一步的可选方向为 4、5、6；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 1 或 5，用 135° 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 3 或 7，用 45° 方向模板，四个方向的卷积模板如图 5 所示。对 3 个候选点分别用与之相对应的方向梯度卷积模板求卷积，求得的值即为与该候选点的走向垂直方向上的梯度。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三个候选点中应呈现出最大值。因此 3 个候选点中梯度绝对值最大的点以及该点对应的方向即为下一轮廓点及下一步走向。将找到的下一轮廓点作为新的当前点，将其对应的方向作为新的当前方向，循环此过程，直至遇到终止条件结束跟踪。

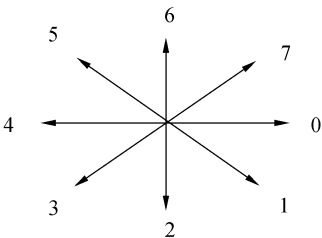


图 4 方向码示意图

Fig. 4 Direction code

0° 方向模板检测的是垂直方向的梯度， 45° 方向模板检测的是 135° 方向的梯度，其余两个方向模板同理。

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

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

0° 方向

45° 方向

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

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

90° 方向

135° 方向

图 5 4 个方向的卷积模板

Fig. 5 Convolution masks of four directions

2.1.4 轮廓跟踪的终止条件

依据模板窗口大小和跟踪结束时的轮廓走向，当当前点的横坐标距离图像右侧边界小于 3 个像素的距离，且跟踪方向为 0 或 1 或 7 时，跟踪结束。

2.2 算法步骤

(1)对图像中最右列的上数第四点至下数第四点之间的像素逐点用模板 1 做卷积，卷积所得的值最大的点记为轮廓跟踪的起始点。若得到两个(或两个以上)值最大的点，则将模板 1 上下各增加一个元素，用新模板对这两点重新做卷积，直至只得到一个最大值为止。初始化轮廓数组，并将起始点存入轮廓数组。

(2)将起始点的左侧邻域三点分别作为候选点，依据公式(1)计算得到第二轮廓点。再以第二轮廓点左侧邻域三点为候选点，用同样方法找到第三轮廓点。将第二、第三轮廓点分别存入轮廓数组。将第三轮廓点作为当前点 CurrentPoint，将第二轮廓点到第三轮廓点的方向记录为当前方向 CurrentDirection。

(3)将当前方向 CurrentDirection 以及对应于图 4 方向码中当前方向的两个邻接方向作为下一步的 3 个可能走向。

(4)从当前点沿着每个可能走向分别前进一点作为候选点。对每个候选点，依据从当前点到该候选点的方向，从图 5 中选取与该方向相对应

的卷积模板,将该候选点对应于模板中心元素求卷积,将卷积结果的绝对值作为该候选点的灰度梯度值。

(5)比较第(4)步中3个候选点的灰度梯度值的大小,将值最大的候选点作为下一个轮廓点(若3个候选点的灰度梯度值出现相等的情况,则若出现相等情况的点中包括中心方向上的点,则取中心方向上的点作为下一轮廓点;否则,取中心方向右侧方向上的点作为下一轮廓点)。将找到的轮廓点存入轮廓数组,将当前方向更新为从当前点到该轮廓点的方向,再将当前点更新为该轮廓点。

(6)判断当前点坐标是否满足结束条件。若当前点的横坐标距离图像右侧边界小于3个像素,且跟踪方向为0或1或7时,跟踪结束,否则转(3)继续执行。

3 实验结果及分析

为了充分验证本文算法的可行性,本文分别采用了两个图像库应用本文算法进行了轮廓跟踪实验。图库1:本实验室自采集的手形图库,实验室自然光照条件下用普通摄像头采集,包括不同时刻不同光照条件下采集的图像,共30人,每人5幅右手图像,图像分辨率为 640×480 ;图库2:香港科技大学提供的手形图像库 HKUST Hand Image database^[16],图像分辨率为 640×480 。

3.1 图库1的实验

将实验室自采图库的150幅图像用本文算法进行轮廓跟踪实验,对每幅图像都能得到完整准确的手形轮廓。为了更清楚的显示使用本文算法得到的检测结果,将本文算法与常用的先二值化再提取轮廓的方法以及使用几种经典的边缘检测算子,如Canny算子、Sobel算子、Prewitt算子直接进行边缘检测的实验结果进行比较。图6为待提取轮廓的原始手形图像。

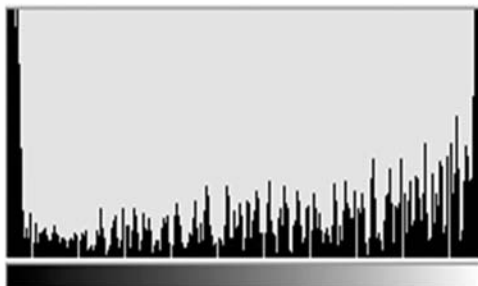
从图6(b)的灰度直方图6(c)可以看出,靠近最左边灰度分布密集的区域对应的是图像中颜色较深,即接近黑色的区域,最右边灰度分布密集的区域对应的是图像中手部较亮的区域,中间部分靠近左侧为受光照影响而变得较亮的背景区域,靠近右侧为手部不太亮的暗影区域。从直方图的分布可以看出,前景和背景的灰度分布存在



(a)摄像头自采图像
(a) Original color picture



(b)转换后的灰度图
(b) Gray-level picture of (a)



(c) b图像的灰度直方图
(c) Histogram of (b)

图6 原始图像

Fig. 6 Original hand pictures

一定的混叠,直方图分布不具有明显的双峰特性,因此并不适合采用全局阈值二值化的方法来完成前景和背景的分隔,即使动态选取最佳阈值,也无法很好地解决上述问题。

由于自然光照条件下采集的图像受光线照射方向和光照强度的影响以及摄像头一定程度的偏光现象,使得图像中背景部分光亮度较强的区域与手部暗影区域的部分像素存在灰度重叠现象。对图像进行二值化,将会有两种情况发生,如果阈值选取过低,将使一部分背景像素被误判为



(a)图 6(b)的固定阈值二值化

(a)Fixed threshold segmentation of Fig. 6(b)



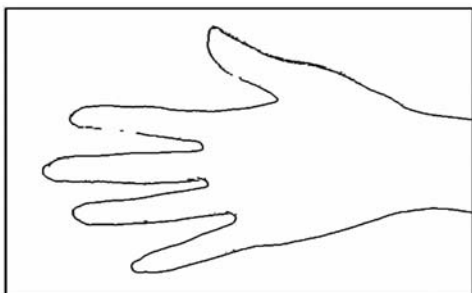
(b)图 6(b)的自动阈值二值化

(b) Automatic threshold segmentation of Fig. 6(b)



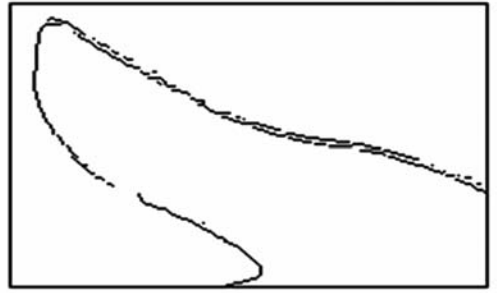
(c) 调高國值后手指手腕边缘残缺

(c) Hand edge pixel lost at a higher threshold



(d) Sobel 算子提取的边缘

(d) Edge extracted using sobel operator



(e) sobel 边缘细小断裂及噪声点

(e) Tiny fracture and noise in sobel edge picture



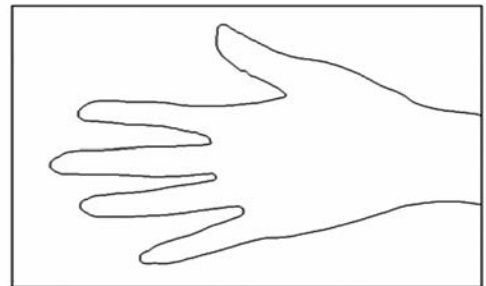
(f) sobel 边缘检测轮廓缺失

(f) Contour lost in sobel edge picture



(g) canny 算子检测的边缘

(g) Edge extracted by using canny operator



(h)本文算法跟踪的轮廓

(h) Contour tracked by algorithm proposed

图 7 实验结果对比图

Fig. 7 Comparison of the results with different methods

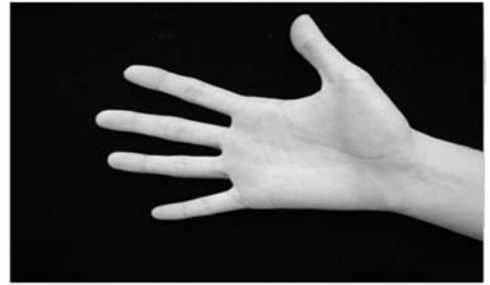
前景,如果阈值选取过高,将使一部分前景像素被当做背景处理,使手形残缺不全。对于上述情况,无论怎样选取阈值,都难以达到理想的分割效果,即使采用局部阈值或动态最优阈值二值化,由于局部区域光照噪声的影响也会导致分割后手形图像的残缺或冗余。

从实验结果图(图 7)可以看出,阈值二值化方法处理后的图像将大量受光照影响的背景区域划分为前景,在仍然存在较多的背景区域被误判为前景的情况下,手形图像已经出现轮廓缺失,如图 7(a)、7(b);若通过适当调整阈值,使得背景误判为前景的区域面积减小,则会使手形轮廓更加残缺不全,如图 7(c),直接导致提取手形特征的准确性大大降低;Canny 算子检测出的边缘存在着大量细小的无用边缘,且杂乱无章,很难进一步对这些细小边缘加以去除,如图 7(g);Sobel 算子貌似能够较好的提取出手形轮廓,如图 7(d),但其检测出的边缘轮廓不连续,很多地方存在断痕,且对边缘附近细小噪声的去噪能力差,如图 7(e)、7(f),这些存在的问题均对后续处理中得到准确、连续的边缘轮廓造成困难;Prewitt 算子检测出的轮廓与 sobel 算子存在同样的问题,不作赘述。而本文算法对这种有自然光照影响的手形图像,能够准确、完整的提取出手形轮廓,提取的轮廓线条连续、无断点,不需要进一步剔除无用的边缘及细小噪声,只需一个处理步骤即可得到有序的手形边缘轮廓点集,方便后续处理。

3.2 图库 2 的实验

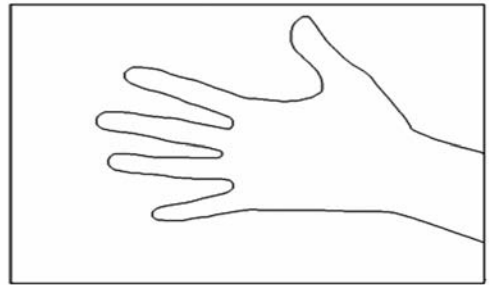
为充分验证本算法,从香港科技大学的手形图像库中随机抽取了 50 人,每人 10 幅右手图像进行本文算法的轮廓跟踪实验。其中完整准确的跟踪出手形轮廓的有 429 幅,如图 8 所示,跟踪错误的有 71 幅,其中跟踪出错的位置均为大拇指与食指外侧相交的指根部位。对所有跟踪出错的图片仔细观察分析,发现一个共同的特点,即大拇指张开程度不够,与手掌部位贴得过近或有不同程度的粘连,使得拇指指根处呈现出一条或多条很深的折痕延伸至手掌内部,导致算法沿着折痕跟踪进手掌内部,如图 9 所示。

为验证跟踪出错的图像是否为上述原因导致,本文进行了补充实验,从香港科技大学提供的手形图像库中挑选出 100 人,每人 5 幅拇指未与手掌部位贴近的右手图像,用本文算法进行轮廓



(a) 原始图像

(a) Original image



(b) 跟踪出的轮廓

(b) Contour tracking of (a)

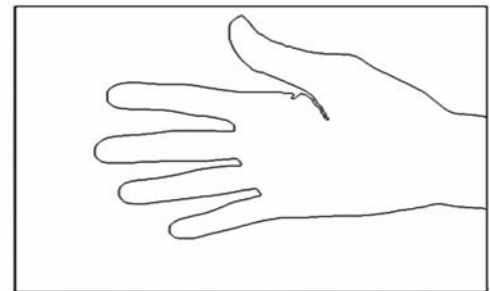
图 8 跟踪正确的图像

Fig. 8 Correctly traced picture



(a) 原始图像

(a) Original image



(b) 跟踪出的轮廓

(b) Contour tracking of (a)

图 9 跟踪进手掌内部的图像

Fig. 9 Picture tracked into the inner palm place

跟踪实验。实验结果为:500 幅图像中只有 3 幅跟踪出错,该 3 幅图像属于同一个人,其余全部跟踪正确。跟踪出错的图像位于拇指指跟处的掌纹纹理过深,即使拇指张开程度足够大,仍然呈现出很深的纹理折痕,导致该局部区域内垂直于纹理方向呈现出灰度梯度极值,致使跟踪至此处时偏离了手形轮廓,跟进手掌内部。此问题仍需寻求改进算法加以解决。

通过上述实验结果可以得出,本文算法除了极个别纹理过深的手形图像外,均能够提取出完整准确的手形轮廓,尤其适合于受光照不均影响的手形图像的轮廓提取。该算法对手形图像的要求为:五指张开,大拇指向外侧伸展。

参考文献:

- [1] SANCHEZ R R, SANCHEZ A C, GONZALEZ M A. Biometric identification through hand geometry measurements [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22 (10):1168-1171.
- [2] SANCHEZ R R. Hand geometry pattern recognition through Gaussian mixture modeling[C]. *Proceedings of 15th International Conference on Pattern Recognition, Washington, USA; IEEE Computer Society Press*, 2000:2937-2940.
- [3] JAIN A, NANDAKUMAR K, ROSS A. Score normalization in multimodal biometric systems[J]. *Pattern Recognition*, 2005, 38:2270-2285.
- [4] ANDREAS U, PETER W. Personal recognition using single-sensor multimodal hand biometrics [C]. *Proceedings of the 3rd international conference on Image and Signal Processing, France*, 2008:396-404.
- [5] TADEJ S, NIKOLA P. Personal recognition based on an image of the palmar surface of the hand [J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40:3152-3163.
- [6] RIBARIC S, RIBARIC D, PAVESIC N. Multimodal biometric user-identification system for network-based applications [C]. *IEE Proceedings-Vision Image and Signal Processing*, 2003, 409-416.
- [7] JAIN A K, DUTA N. Deformable matching of

4 结 论

本文提出了一种基于方向梯度极值的手形轮廓跟踪算法。该算法能够在灰度图像上跟踪出准确、连续、完整的手形轮廓。将本文算法分别在实验室自采图库及香港科技大学(HKUST)提供的手形图像库中进行轮廓跟踪实验,自采图库的跟踪准确率为 100%,HKUST 的手形图像库的跟踪准确率为 85.8%,该库中符合本文算法限制条件的图像的跟踪准确率为 99.4%。文中还给出了本文算法与其它几种经典算法的轮廓提取效果的对比实验,所有结果表明,对于手形轮廓提取,该算法更为有效、可行,尤其适合于受光照不均影响的手形图像的轮廓提取。

- hand shapes for verification[C]. *IEEE International Conference on Image Processing, Kobe, Japan*, 1999:857-861.
- [8] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979, 9(1):62-66.
- [9] 聂祥飞,郭军. 利用 Gabor 小波变换解决人脸识别中的小样本问题[J]. *光学 精密工程*, 2007, 15(6): 973-977.
- NIE X F, GUO J. Solution of small sample size problem in face recognition using Gabor wavelet transform[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(6): 973-977. (in Chinese)
- [10] 付鹏,袁正定. 一种新颖的手形特征提取算法[J]. *信号处理*, 2003, 19(z1):324-327.
- FU P, QIU ZH D. A novel feature extraction algorithm[J]. *Signal Processing*, 2003, 19(z1): 324-327. (in Chinese)
- [11] 顾理,庄镇泉. 一种基于模板匹配的手形认证算法[J]. *计算机工程与应用*, 2005, 41(6):85-88.
- GU L, ZHUANG ZH Q. A method of hand shape verification based on template matching rules[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2005, 41(6):85-88. (in Chinese)
- [12] 孙冬梅,袁正定,何冰. 一种基于手形特征点匹配的身份认证方法[J]. *电子与信息学报*, 2003, 2(3): 412-418.
- SUN D M, QIU ZH D, HE B. Automated identity

verification based on feature points matching of hand shape[J]. *Journal of Electronics and information technology*, 2003, 2(3): 412-418. (in Chinese)

- [13] 付树军,阮秋琦,穆成坡,等.基于非线性扩散滤波的边缘检测和图像测量[J].*光学精密工程*,2007,15(2):289-293.

FU SH J, RUAN Q Q, MU CH P, *et al.*. Edge detection for image measurement based on nonlinear diffusion filtering [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 289-293. (in Chinese)

- [14] 顾理,庄镇泉,万淑超,等.手形识别中的手形提取方法[J].*计算机仿真*,2005,22(7):128-132.

GU L, ZHUANG ZH Q, WAN SH CH, *et al.*. Method of hand shape extracting in hand shape recognition [J]. *Computer Simulation*, 2005, 22(7): 128-132. (in Chinese)

- [15] 聂祥飞,谭泽富,郭军.应用小波变换的人脸光照补偿[J].*光学精密工程*,2008,16(1):150-155.

NIE X F, TAN Z F, GUO J. Face illumination compensation based on wavelet transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(1): 150-155. (in Chinese)

- [16] HKUST Hand Image database[R/OL]. http://visgraph.cs.ust.hk/biometrics/Visgraph_web/index.html.

作者简介:



苑玮琦(1960—),男,辽宁沈阳人,博士后,教授,博士生导师,1982年于湖南大学获学士学位,1988年、1997年于东北大学分别获博士学位。主要从事计算机视觉检测技术、生物特征识别技术和图像处理与模式识别方面的研究。E-mail: yuan1960@126.com



桑海峰(1978—),男,河北人,博士,副教授,2000年于东北师范大学获硕士学位,2006年于东北大学获博士学位,主要从事生物特征识别技术的研究。E-mail: sanghaif@yahoo.com.cn



董茜(1983—),女,辽宁辽阳人,硕士研究生,主要从事生物特征识别方面的研究。E-mail: marylight@163.com