

基于多尺度屋顶边缘检测的指纹图象分割方法

杨海军¹⁾ 梁德群²⁾ 田原³⁾

¹⁾(西安交通大学图象处理与识别研究所, 西安 710049) ²⁾(大连海事大学信息工程学院, 大连 116026)

³⁾(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)

摘要 针对指纹图象的细节识别问题,提出了一种新的分割指纹图象中脊和谷的方法.该方法是将上述脊和谷看成是屋顶边缘,脊和谷的两个边界看成是阶跃边缘,并利用基于B样条小波的多尺度屋顶边缘检测方法来实现脊和谷的分割;同时详细讨论了精确确定屋顶状目标所需的尺度范围,并给出了检测目标的具体方法.实验证明,该方法用于不同质量的指纹图象的检测都取得了令人满意的效果.需要指出的是,该方法也同样适用于其它类似屋顶状目标的检测.

关键词 指纹图象 脊和谷 分割 多尺度屋顶边缘 有效尺度范围

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)01-0051-05

Segmentation of Fingerprint Images Based on Multi-Scales Roof Edge Detection

YANG Hai-jun¹⁾, LIANG De-qun²⁾, TIAN Yuan³⁾

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

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

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

Abstract Automatic fingerprint identification is one of the most significant biometrics technology. Preprocessing of fingerprint image play an important role in automatic fingerprint identification system (AFIS) and segmenting the ridges and valleys from fingerprint images is the basic task of preprocessing. This paper presents a new segment method for the ridges and valleys of fingerprint images. The ridges and valleys are considered as roof edge and their two sides are taken for step edges, then ridges and valleys can be located based on roof edge detection of multi-scales B-spline wavelet, and the area of the ridges and valleys is decided by the step edges. The valid scale range for roof target detection is discussed in detail, and we also give the simply and concretely segment method. The effectiveness of this algorithm has been testified for different quality fingerprints images. It must be point out that this segment method can be applied to detection of other similar roof targets.

Keywords Fingerprint images, Ridge and valley, Segment, Multiscale roof Edge, Valid scale range

0 引言

指纹是指尖表皮上由脊和谷组成的纹路,由于其具有不变性和唯一性,因此指纹已经成为生物测定学中重要方面.这种指纹的唯一性是由脊的局部

特征和它们之间的相互关系决定的^[1],其中最重要的两个脊特征是脊的端点和分叉,它们也称为细节.

为了获得细节,首先必须从指纹图象中将脊分割出来,然后通过细化,才能从脊的骨架中得到端点和分叉等细节.通常的指纹图象分割是通过二值化,或者利用基于二值化的改进方法,其中包括直方图

均衡方法,动态阈值法等等.一般这些方法对于质量良好的指纹图象是适用的,但是对于那些有污染的或者有噪声的低质量指纹图象,这种方法就不适用了,因为它们往往会带来伪细节或将真实的细节去掉的问题,这将给以后的识别工作带来困难.针对这种情况,Lin等提出了一些改进的指纹图象增强算法^[2~4],但这些算法需要知道指纹图象的方向场,而对于低质量的指纹图象来说,这种方向场的获得同样是粗糙的和困难的.为此本文提出一种新的指纹图象分割方法,即将脊和谷看成是屋顶边缘,然后利用屋顶边缘边界就是阶跃边缘的这一特点,再利用基于B样条多尺度屋顶边缘目标检测方法而实现了脊和谷的分割.

1 基于多尺度屋顶边缘的目标检测

利用阶跃边缘分割图象时,往往会遇到感觉组织(perceptual organization)问题,即在得到边缘图象后,需解决哪些边缘是来自同一个目标(部分),而哪些边缘是不同目标(部分)的这一难题.而作为反映不同尺度下目标骨架信息的多尺度屋脊边缘检测则避开了这个问题.

对于指纹图象中的脊和谷来说,由于可以将它们看成是方波型屋顶边缘,因此本文将主要讨论方波型屋顶边缘的目标检测.对于方波型屋顶边缘来说,从另一个角度出发,可以将其看成是由两个阶跃边缘组成,即具有双阶跃边缘特征.在理论上,如果能找到反映目标骨架信息的屋顶边缘,又能找到反映屋顶状目标范围的两个阶跃边缘,那么就实现了屋顶状目标的检测.

1.1 多尺度边缘检测

设平滑函数为 $\theta(x)$,其积分为1,并在无穷远处趋于零. $\theta(x)$ 是中心对称函数,它具有紧支集 $[-w/2, w/2]$,且具有连续的二阶导数. $\theta(x)$ 的一阶和二阶导数为 $\psi^a(x) = d\theta(x)/dx$ 和 $\psi^b(x) = d^2\theta(x)/dx^2$,且有

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi^a(x) dx = 0 \quad (1)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi^b(x) dx = 0 \quad (2)$$

因此, $\psi^a(x)$ 和 $\psi^b(x)$ 可以被看成为小波函数,它们相应的伸缩形式为: $\psi_s^a(x) = \psi^a(x/s)/s$ 和 $\psi_s^b(x) = \psi^b(x/s)/s$,其中, $s > 0$ 为尺度因子.这样函数 $f(x)$ 的小波变换即为

$$\begin{aligned} W_s^a f(x) &= f * \psi_s^a(x) = f * \left(s \frac{d\theta_s}{dx} \right) (x) \\ &= s \frac{d}{dx} (f * \theta_s)(x) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} W_s^b f(x) &= f * \psi_s^b(x) = f * \left(s^2 \frac{d^2\theta_s}{dx^2} \right) (x) \\ &= s^2 \frac{d^2}{dx^2} (f * \theta_s)(x) \end{aligned} \quad (4)$$

其中, $\theta_s = \theta(x/s)/s$.

从式(3)和式(4)可见,小波变换 $W_s^a f(x)$ 和 $W_s^b f(x)$ 相应地就是信号按尺度 s 平滑后的一阶和二阶导数,且平滑后信号 $f * \theta_s(x)$ 的拐点分别对应一阶导数的模极值和二阶导数的零交叉,而被平滑信号 $f * \theta_s(x)$ 的极值点则对应一阶导数的零交叉.换句话说,阶跃边缘可以用一阶导数的小波变换的模极值和二阶导数的小波变换的零交叉来检测;而屋顶边缘可以用一阶导数的小波变换的零交叉来检测.

1.2 边缘检测的有效尺度

图1即表示了方波型屋脊边缘在不同尺度下的一阶导数和二阶导数.从图中可以看到,只有尺度较大时,一阶导数才会出现单独的过零点,此时屋顶边缘检测才有意义,也就是说,用一阶导数的过零点来检测屋顶边缘时,需要满足一定的尺度条件,而当方波型屋顶边缘被看成是双阶跃边缘时,阶跃边缘的定位会随着尺度的增大而出现偏移,同样只有在一定的尺度范围内才能精确的定位,如图1(c)所示.文献[5]详细讨论了不同类型的边缘在尺度空间中精确定位的有效尺度,下面以一维上凸型边缘为例,来直接引用文献[5]有关屋顶边缘和双阶跃边缘的有效尺度的结论.

在一维情况下,理想的上凸型方波型屋顶边缘的模型为

$$f_q(x) = Au(x + d/2) - Au(x - d/2) \quad (5)$$

其中, A 是屋顶边缘的幅度; $u(\cdot)$ 是理想阶跃函数; d 是屋顶边缘的宽度.文献[5]已证明方波型屋顶边缘准确检出的有效尺度范围是 $[d/w, +\infty)$.

当式(2)所示的模型可以被看成是双阶跃模型时, A 是阶跃边缘的幅度, d 是两个阶跃边缘之间的距离,两个阶跃边缘分别位于处 $-d/2$ 和 $d/2$ 处.同样从图1中可以看到,只有尺度满足一定的条件时,两个阶跃边缘才会被精确的定位,否则会产生偏移.可以证明^[5],方波型双阶跃边缘精确定位的有效尺度范围是 $[1, 2d/w)$.

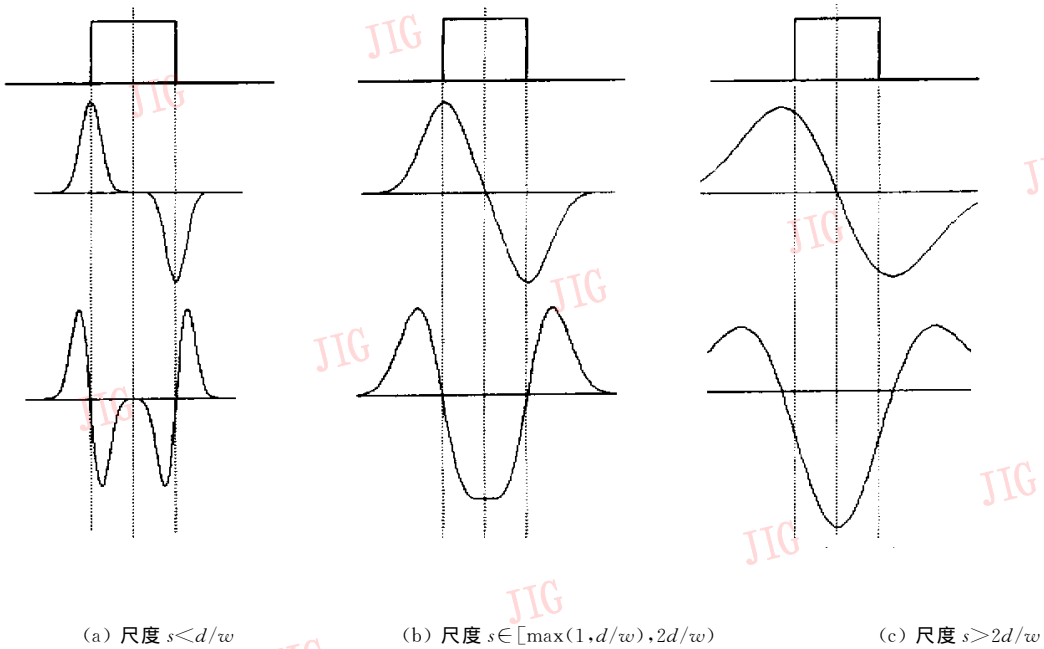


图 1 方波型屋顶边缘(双阶跃边缘)在不同尺度下的一阶、二阶导数小波变换

1.3 屋顶状目标的检测

通过检测屋顶边缘,就可以知道屋顶状目标的骨架信息,如果同时得到组成屋顶边缘的两个阶跃边缘,就知道了屋顶状目标的覆盖范围,从而也就实现了目标检测.从上节的论述可以知道,通过屋顶状目标检测,不仅能同时准确检测出屋顶边缘,而且能准确定位双阶跃边缘的有效尺度范围是 $[\max(d/w, 1), 2d/w]$.

事实上,并不需要检测出具体的阶跃边缘就可以实现屋顶状目标的检测,这是因为方波型屋顶边缘的二阶导数为

$$W_s^b f_q(x) = A \left[\theta' \left(\frac{x+d/2}{s} \right) - \theta' \left(\frac{x-d/2}{s} \right) \right] \quad (6)$$

在 $x=0$ 处,有

$$W_s^b f_q(x) \Big|_{x=0} = 2A \left[\theta' \left(\frac{d}{2s} \right) \right] \quad (7)$$

由 $\theta(x)$ 的紧支集特性可知,当 $s \geq d/w$ 时, $W_s^b f_q(x) \Big|_{x=0} < 0$. 也就是说,由于在尺度范围 $[\max(d/w, 1), 2d/w]$ 内,二阶导数过零点就是目标的阶跃边缘,因此,方波型屋顶目标的检测可以用其二阶导数小于零来精确地确定.

对于一维情况,很容易推广到二维情况. 设平滑函数为 $\theta(x, y)$, 其在 x 和 y 上的积分为 1, 在无穷远处趋于 0. $\theta(x, y)$ 是中心对称函数, 具有紧支集 $[-w/2, w/2] \times [-w/2, w/2]$, 且具有连续的二阶导数. 图象 $f(x, y)$ 被平滑就意味着它和尺度为 s 的光

滑函数 $\theta_s(x, y)$ 进行卷积

$$S_s(x, y) = f(x, y) * \theta_s(x, y) \quad (8)$$

其中, $\theta_s(x, y) = \frac{1}{s^2} \theta \left(\frac{x}{s}, \frac{y}{s} \right)$

则平滑图象 $S_s(x, y)$ 的一阶和二阶方向导数为

$$S'_s(x, y, \alpha) = \frac{\partial S_s(x, y)}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial S_s(x, y)}{\partial y} \sin \alpha \quad (9)$$

$$S''_s(x, y, \alpha) = \frac{\partial^2 S_s(x, y)}{\partial x^2} \cos^2 \alpha + 2 \frac{\partial^2 S_s(x, y)}{\partial x \partial y} \cos \alpha \sin \alpha + \frac{\partial^2 S_s(x, y)}{\partial y^2} \sin^2 \alpha \quad (10)$$

在最大梯度方向 $\alpha^* = \arctan \left(\frac{\partial S_s(x, y) / \partial y}{\partial S_s(x, y) / \partial x} \right)$ 上, 若该平滑图象的二阶导数 $S''_s(x, y, \alpha^*) = 0$, 则对应着阶跃边缘. 并有

$$\sin \alpha^* = \frac{\partial S_s(x, y) / \partial y}{\left[(\partial S_s(x, y) / \partial x)^2 + (\partial S_s(x, y) / \partial y)^2 \right]^{1/2}} \quad (11)$$

$$\cos \alpha^* = \frac{\partial S_s(x, y) / \partial x}{\left[(\partial S_s(x, y) / \partial x)^2 + (\partial S_s(x, y) / \partial y)^2 \right]^{1/2}} \quad (12)$$

将式(11)和式(12)代入式(10), 易得

$$G_s(x, y) = \frac{\partial^2 S_s}{\partial x^2} \left(\frac{\partial S_s}{\partial x} \right)^2 + 2 \frac{\partial^2 S_s}{\partial x \partial y} \left(\frac{\partial S_s}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial S_s}{\partial y} \right) + \frac{\partial^2 S_s}{\partial y^2} \left(\frac{\partial S_s}{\partial y} \right)^2 \quad (13)$$

其中, $G_s(x, y) = S''_s(x, y, \alpha^*) \left[(\partial S_s(x, y) / \partial x)^2 + (\partial S_s(x, y) / \partial y)^2 \right]$. 显然, $G_s(x, y) = 0$ 的点是阶跃

边缘.

对于图象中上凸方波型屋顶状目标来说, 设其宽度为 d , 则当尺度 $s \in [\max(d/w, 1), 2d/w]$ 时, $G_s(x, y) = 0$ 的点, 即是其阶跃边缘, 也即目标的边界, 而 $G_s(x, y) < 0$ 的区域, 则是目标的覆盖范围. 换句话说, 只要得到图象中的屋顶边缘, 并找到相应的 $G_s(x, y) < 0$ 的区域, 就实现了上凸方波型屋顶状目标的检测.

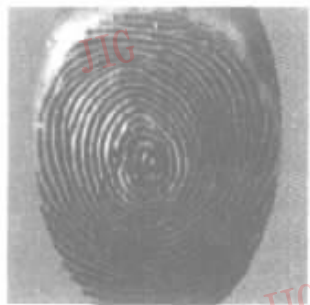
另外, 对于下凹方波型屋顶状边缘, 推导是类似的, 同样, $G_s(x, y) = 0$ 的点, 即是目标的边界, 而 $G_s(x, y) > 0$ 的区域是目标的覆盖范围.

2 实验结果

本文将指纹图象中的脊和谷看成是方波型屋顶边缘, 从以上的分析可看到, 检测屋顶状目标的尺度

与屋顶目标的宽度以及平滑函数的紧支集范围有关. 当平滑函数选定以后, 尺度就只与屋顶边缘的宽度有关了. 对于典型的指纹图象来说, 由于脊或谷的宽度 d 是有限的, 即 $d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$, 且 $d_{\max} < 2d_{\min}$, 因此选取尺度 $s \in [\max(d_{\max}/w, 1), 2d_{\min}/w]$ 即可. 本文用三次 B 样条函数作为平滑函数的原因是: 一方面是由于三次 B 样条函数具有紧支集, 且具有较好的平滑效果; 另一方面是由于 Wang 等人已给出了 n 阶 B 样条小波在尺度参数 s 连续变化时的快速实现算法^[6].

图 2(a)是具有中等质量的指纹图象, 图 2(b)和图 2(c)则是其分别用本文方法分割得到的脊和谷的分割结果. 图 3(a)是具有较低质量的指纹图象, 图 3(b)和图 3(c)是其分别用本文方法分割获得的脊和谷的分割结果和相应脊的骨架. 从分割结果看, 本文方法较好地实现了指纹图象中脊和谷的分割.



(a) 原图

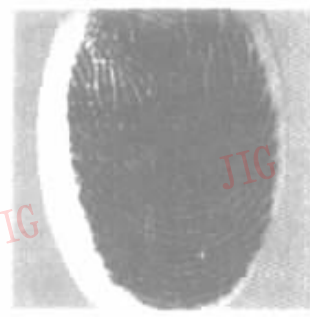


(b) 脊的分割结果



(c) 谷的分割结果

图 2 具有中等质量的指纹图象的分割结果



(a) 原图



(b) 脊的分割结果



(c) 谷的分割结果

图 3 具有较低质量的指纹图象的分割结果

3 结论

本文提出了一种新的用于分割指纹图象中脊和谷的基于 B 样条多尺度屋顶边缘检测的方法. 由于

该方法是将脊和谷看成是屋顶状目标, 而屋顶状目标既可以看成是屋顶边缘, 又可以看成是双阶跃边缘, 因此可利用屋顶边缘边界就是阶跃边缘的特点, 来实现指纹图象中脊和谷的分割. 本文给出了检测屋顶状目标所需要的尺度范围, 并给出了屋顶状目

标检测的具体方法. 另外, 通过不同质量指纹图象的检测, 其结果也证明, 本文方法的效果是令人满意的, 不仅如此, 由于可以同时得到指纹图象的脊和谷两方面的分割结果, 从而有利于指纹图象识别的后续工作. 这里需要指出的是, 本文方法同样适用于其他类似屋顶状目标的检测, 比如焊缝 X 射线图象中缺陷的检测和汽车牌照的字符分割等.

参 考 文 献

- 1 Lee H C, Gaensslen R E. Advances in fingerprint technology. New York: Elsevier, 1991.
- 2 Lin H, Wan Y, Jain A. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation. IEEE Trans. on PAMI, 1998, 20(8): 777~789.
- 3 Kasaei S, Deriche M, Boashash B. Fingerprint feature enhancement using block-direction on reconstructed images. In: Proceedings of IEEE ICICS, Singapore, Sept. 1997: 721~725.
- 4 Coetzee L, Botha E C. Fingerprint recognition in low quality images. Pattern Recognition, 1993, 26(10): 1441~1460.
- 5 杨焯. 基于图象信息测度的多尺度边缘检测方法研究[博士论文]. 西安: 西安交通大学, 1998.
- 6 Wang Y P, Lee S L. Scale-space derived from B-splines. IEEE Trans. on PRMI, 1998, 20(10): 1040~1054.

杨海军 1973 年生, 1994 年毕业于西安交通大学物理系应用物理专业, 1997 年在西安交通大学获模式识别与智能控制硕士学位, 现为西安交通大学通信与信息系统专业博士研究生. 主要研究方向为图象检测、低级视觉、图象识别等.

梁德群 1940 年生, 教授、博士生导师. 1966 年毕业于西安交通大学工业企业电气化与自动化专业. 主要从事图象处理和模式识别的研究, 目前主要的研究兴趣是低级视觉、并行结构和图象检测.

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 年和 1998 年在西安交通大学先后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. 主要研究兴趣为图象处理与分割、图象目标的检测与识别、视觉监控、图象理解等.