

基于轮廓法线上亮度的极小、极大值边缘检测

吕植勇

(武汉交通科技大学科研处, 武汉 430063)

摘要 利用图象边缘轮廓呈现的一种沟壑性质, 开发了一种通过求象素亮度的极值来进行边缘检测的方法. 首先在 3×3 象素的窗口中, 如果中心值为最小值, 则以该点为基础, 以 $\pm 45^\circ$ 、 0° 和 90° 方向作为近似法线带, 然后判断该法线上的象素最小值是否在切点上(即是否在法线的中心点上), 再通过检验切点与轮廓法线上亮度极大值的差值是否超过阈值, 来判断切点是否为边缘轮廓上的点. 由于最小值随着图象局部亮度的变化, 就像山谷一样, 决不会在一个水平面上, 而是会随局部地势变化而变化的, 所以该方法是根据局部轮廓法线上亮度的最小值来判别边缘轮廓的, 其特点是可以自适应地利用周围象素亮度值来判断物体边缘.

关键词 图象 轮廓 极值 切线 法线 阈值

中图法分类号: TP391.41 TK418 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)04-0321-04

Edge Detection Based on Minimum and Maximum of Luminance on Normal Line of Image's Edge

LU Zhi-yong

(Wuhan Transportation University Science and Technology department, Wuhan 430063)

Abstract This paper introduces a method of edge detection. By comparison with topography, it is found that the character of edge of image shows the same valley's character as relief map. Firstly, according to this character, primary central point is detected by the exploring extremum method in the windows of 3×3 pixels. Then, basing on this central point, approximate normal line at $\pm 45^\circ$, 0° and 90° angle are drew. if the minimums of normal line is at central point and the difference between the minimums and the maximum in the normal line is more than the threshold, this point is considered to the edge point of image. Because the brightness of this point varies with local image like valley—the valley geographic location is not always at the same level and it varies with physiognomy. So this method of edge detection is according to local minimum point in the normal line. the character of this method has self-adjusting situation of local image on detecting edge of image.

Keyword Image, Edge, Extremum, Normal, Tangent, Threshold

0 引言

在图象轮廓处理中, 在以图形的 x, y 轴为 x, y 轴, 以亮度值为 z 轴的三维坐标系中, 人们可以发现三维亮度图展现为一幅像山脉、谷壑一样的地形图. 虽然形态学理论在图象分割中已得到广泛应用, 其比较有代表性的是 Vincent 等人提出的水线算法^[1], 但是, 这种方法存在一定的局限性, 即各水线之间的联系很少. 实际上, 在地形学中, 水总是沿着山谷、小溪顺势自上而下流淌, 而且在一定的范围内, 水总是分布在小溪截面最低的地方, 这给边缘检测提供了

不少启示, 致使本文提出一种新的算法. 在图形处理中, 用地形图的概念来分析铁谱图形, 把铁谱图形的背景作为水平线, 而将高于或低于背景亮度值的象素作为磨粒的轮廓来处理, 但是磨粒与磨粒之间还有分界线, 而且亮度又不在一个水平上, 如何来处理它们的轮廓? 笔者采用基于轮廓法线上亮度极小、极大值的边界切线轮廓分形方法, 并且利用阈值来处理这些图形, 其中有些图形可以得到比较理想的效果.

1 基本原理

由于光线不同的入射角产生了不同的反射角,这将使物体边缘光线减暗,并使其在三维图形中显示为“山谷”的性质,因而用固定的阈值是解决不了问题的,必须应用适合不同情况的灵活算法。

一般图象的亮度值和二维光强度函数有关,若用坐标 (x, y) 表示,则意思是说,在空间坐标 (x, y) 处的振幅值 f 就是图象上该点的光强度(亮度),因为光是能量的一种形式,故 $f(x, y)$ 必须大于零,且是一个有限值,即

$$0 < f(x, y) < \infty$$

人的视觉所感受到的图象,一般反映的都是物体反射光强度,因此 $f(x, y)$ 的主要性质可被看成是由入射光的强度及物体的反射光能力决定的,它们分别称为照射分量 $i(x, y)$ 和反射分量 $r(x, y)$,这样函数 $i(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 之积即形成图象 $f(x, y)$,即

$$f(x, y) = i(x, y) \times r(x, y) \quad (1)$$

式中 $0 < i(x, y) < \infty$
 $0 < r(x, y) < 1$

当 $r(x, y) = 0$ 时,则说明物体光线被全吸收;当 $r(x, y) = 1$ 时,则为全反射。 $r(x, y)$ 由物体的性质决定,即与物体的材质有关。

一般来说,图象的轮廓不仅与照射分量和反射分量有关,而且与照射的入射角 α_{in} 和反射角 α_{out} 有关,即入射角越小,人们看到的物体越清楚;反之物体看起来就越暗,这就形成了物体的边缘轮廓,由此可见,物体成象还与物体表面特征和摄入对象(如照相机,眼睛等)的位置有关,人们都存在这种体验:当人们从物体的正面和侧面观察,物体的亮度会不一样,反映到图象中,在物体的边缘部分,其亮度值比较低,之所以如此,是因为一种光源照在任何物体上,在边缘部分,当入射角为 90° 的时候,几乎没有反射光,然而一旦离开物体边缘,随着物体表面的变化,反射光又会大幅度增加,于是形成了物体边缘部分出现亮度极小的现象,这也就是边缘检测需要查找的边缘点,也即所谓的亮度“山谷”。

如图1所示,在 a 处,当光线照在物体表面上时,其入射角和反射角都为 0° ,则照片上的物体该处非常亮,而在 b, d 处,由于光线的入射角和反射角接近 45° ,该处物体在照片上则显得暗些,但是在 c 处,由于光线入射角最大,因此在照片上此处物体显得最

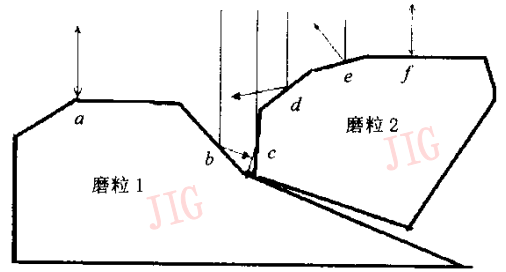


图1 光照磨粒原理图

暗,在整个图形中, c 点即形成一个边缘轮廓,即“山谷”,并且处在物体的边缘部分,由于该处图象的亮度会发生急速的变化,也就是梯度很大,且形成的亮度值像山崖高度一样下降,并且在对象边缘最陡的地方(如图1的 c 的位置),因此亮度值最低,往往形成图象亮度值的极小值,这种极小值与周边亮度的差值往往反映物体边缘的特性,形成所谓的“山谷”。在处理图象时,在很小范围内,图象边缘的一段轮廓可以近似地认为是图象轮廓的切线。另外,尽管图象轮廓还与摄像视角有关,但是图象轮廓的“山谷”特性基本没有变。在计算机图象处理中,可以近似地认为在轮廓上的某坐标点 (x, y) 上有 $\pm 45^\circ, 0^\circ$ 和 90° 方向的切线,同样在该点上有 $\pm 45^\circ, 0^\circ$ 和 90° 方向的法线,虽然可以在该点作更多的法线,以得到更精确的结果,但是计算机处理很困难,因为运算量大,并且由于在 $\pm 45^\circ, 0^\circ$ 和 90° 方向作法线已基本够用,故不需要作更多的法线。

2 数学模型和方法

在以上理论指导下,建立了一套基于轮廓法线上亮度极小、极大值边缘检测的数学模型,用来计算图象对象的边界,该方法首先通过 3×3 pixel 窗口,求出图象像素在4个方向上的亮度初始极值点(如图2所示)。

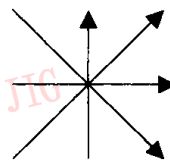


图2 窗口的方向

即当像素的 $A(i, j)$ (像素的亮度值)与四周象素的关系如果符合以下条件:

$$A(i, j) < A(i-1, j) \text{ and } A(i, j) < A(i+1, j) \text{ or } A(i, j) < A(i, j-1) \text{ and } A(i, j) < A(i, j+1) \text{ or}$$

$A(i, j) < A(i-1, j-1)$ and $A(i, j) < A(i+1, j+1)$ or
 $A(i, j) < A(i-1, j+1)$ and $A(i, j) < A(i+1, j-1)$
 则认为该像素 $A(i, j)$ 为图象的初始极小值点, 然后即可以该点 (i, j) 为中心, $2w+1$ 为法线长度, d_k

为带宽, 通过在 4 个方向上建立窗口 $(2w+1) \times d_k$ (不妨设 $d_k = 3$), 建立法线(如图 3 所示), 其中, $\pm 45^\circ, 0^\circ$ 和 90° 方向为近似像素法线带, 中心点在 (i, j) .

		$i-w-1, j-w+1$							$i-w-1, j+w-1$		
	$i-w, j-w$	...		$i-w-1, j-1$	$i-w-1, j$	$i-w-1, j+1$	...			$i-w, j+w$	
$i-w+1, j-w-1$	...	...	...	...	...	...	...	...	...		$i-w+1, j+w+1$
		
	$i-1, j-w-1$	...	...	$i-1, j-1$	$i-1, j$	$i-1, j+1$	...	...	...		$i-1, j+w+1$
	$i, j-w-1$	...	...	$i, j-1$	i, j	$i, j+1$	...	...	...		$i, j+w+1$
	$i+1, j-w-1$	...	...	$i+1, j-1$	$i+1, j$	$i+1, j+1$	...	...	...		$i+1, j+w+1$
		
	$i+w-1, j-w-1$	...	...	...	...	...	...	...	...		$i+w-1, j+w+1$
	$i+w, j-w$	...		$i+w+1, j-1$	$i+w+1, j$	$i+w+1, j+1$	...			$i+w, j+w$	
		$i+w+1, j-w+1$							$i+w+1, j+w-1$		

图 3 4 个方向上像素法线坐标分布图

另外, 可通过增加法线的带宽, 来过滤掉一部分噪声, 以减少噪声的影响, 而法线的亮度值以带宽像素值的平均值为亮度值, 其水平法线窗口如图 4:

$A(i-1, j-w+1)$	...	...	$A(i-1, j)$	...	...	$A(i-1, j+w-1)$
$A(i, j-w+1)$	...	...	$A(i, j)$	...	...	$A(i, j+w-1)$
$A(i+1, j-w+1)$	...	...	$A(i+1, j)$	...	...	$A(i+1, j+w-1)$

图 4 水平法线窗口像素坐标分布图

然后求出当 $d_k = 3$ 时, 每列像素的水平法线 A_{wn} 亮度矩阵列的均值, 即法线亮度矩阵:

$$A_{wn}(n, m) = (A(n-1, m) + A(n, m) + A(n+1, m)) / 3 \quad (2)$$

其中, m 为 $j-w+1:j+w-1$

符号“:”表示从 $j-w+1$, 按步长 1 递增到 $j+1$, 而 $A_{wn}(j-w+1:j+w-1)$ 则表示 A_{wn} 向量的 $2w+1$ 个元素.

再求 A_{wn} 法线的亮度极小值和极大值即:

$$A_{wnlmin} = \min(A_{wn}(i, j-w+1:j+w-1)) \quad (3)$$

$$A_{wnlmax} = \max(A_{wn}(i, j-w+1:j+w-1)) \quad (4)$$

如果极小值在窗口的中心, 则认为在窗口范围内, “山谷”在窗口的中心, 即满足条件:

$$A_{wnlmin} = A_{wn}(i, j) \quad (5)$$

例如: 在图 5 中, 水平法线有 a, b, c, d 4 个极值点, 但是 a, b, c 都不是亮度最小值点, 其中只有 d 点是亮度最小值点, 从中可以看出局部的极值不

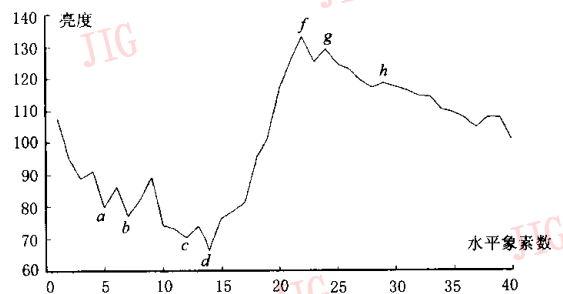


图 5 物体边缘某一点的水平法线亮度变化图

一定是全局的极值, 究竟取那个值, 需通过以上方法, 除掉一部分点, 如 a, b, c 极值点, 即排除部分噪声的影响, 这相当于滤波的作用, 由此可见, 在法线上, 只有 d 点为极小值点, 而且当其在法线的中心时, 才认为是磨粒边缘轮廓上的点. 通过以上方法过滤掉一部分不是边缘的像素, 即减少了一部分计算机的运算量. 根据物体图象边缘的亮度值与周围像素亮度值之间的变化, 可以进一步确认像素点是否是边缘. 一般来说, 亮度值急剧变化多发生在法线上, 但如何来判定它的变化呢? 下面采用的是求法线上亮度最大值的方法, 即通过将法线上亮度的极大值与中心值(即亮度的极小值)进行比较, 如果它们之差大于阈值 T , 则认为其是物体的边缘, 即

$$A_{wnlmax} - A_{wnlmin} > T \quad (6)$$

这里,法线为 $(2w+1)$ pixel,它与 Sobel 算子和 Robertsg 算子是在固定窗口内进行差值运算不同,在这里,亮度的极大值可能是除中心点外法线上的任意点,并且窗口的尺度在 $(2w+1)$ pixel 内是可变的。另外,由于极值在法线上是变化的,而且一般都会受噪声的影响,因此在法线上可能有多个极小值和极大值(见图5所示),图中 a 、 b 、 c 、 d 为极小值点, f 、 g 、 h 为极大值点,其中,最小值点为 d 点,最大值点为 f 点, d 点和 f 点的亮度值之差必须大于阈值。

另外,阈值的大小也会影响对边界轮廓的取舍,即阈值越大,分辨率越低,同时,还会把一些高频小波过滤掉,即把一些对象表面浅色的纹理过滤掉,也可能把一部分边界信息忽略掉,如果阈值越小,虽然处理图象越精细,但是往往会把对象的纹理以及噪声都保留下来,而使处理的图象过于零乱,因而取阈值要适中。在亮度级别为 255 级时,阈值一般在 80200 范围之内,具体的方法是取为整幅图象亮度的极大值与极小值之差的 $1/3 \sim 2/3$,实际值则视自己的需要而定。

以上处理步骤只是解决了边缘轮廓的一部分问题,同样由于噪声的影响,边缘轮廓线并不是连续的,为了保持边缘的连续性,在这里,还需采用以切点为中心,将沿切线正反两方向对等的一段线段做为轮廓的边缘线,由于切线向两边的扩展,因而可以把边缘不连续的点连接起来,因而可以部分解决轮廓线的连续性。

同理,在 $\pm 45^\circ$ 、 0° 和 90° 方向上,也可进行与水平法线处理方法一样的处理(如图2所示),以建立 A_{wn1} 、 A_{wn2} 、 A_{wn3} 和 A_{wn4} 法线带,然后求 A_{wn1} 、 A_{wn2} 、 A_{wn3} 和 A_{wn4} 法线上象素亮度的极小值和极大值之间的差值,再将差值与阈值进行比较、判断,去掉不具有边缘特征的法线,即得到 $\pm 45^\circ$ 、 0° 和 90° 方向物体的边缘。

边缘轮廓判别采用不同的法线长度,对阈值的敏感度是不一样的,法线长度越长,对阈值的敏感度越差,但是对中心值却敏感;反之,法线越短,对阈值越敏感,因为在小窗口中中心值可能是最小值,在大窗口中,中心值则未必是最小值,但是在大窗口中的最大值,而在小窗口中,可能被过滤掉。如果法线长度太长,那么由于中心值不一定为极小值,因而往往会过滤掉一部分对象,这不利于图象处理。当

法线长度取得越小,其阈值也小,分辨物体对象越精细,所以,图象处理时,必须要充分考虑被分辨物体对象的大小,从而适当地设定法线窗口和阈值的大小。

3 实验

为了检验该方法的效果,选择了一个比较复杂的图象(如图版 I 中的图 1 所示)来进行处理,同时对用不同的法线长度和阈值来对图象进行处理的效果进行了比较,图版 I 中的图 2、图 3、图 4 为该方法,用不同参数进行处理的显示效果图,其中图版 I 中的图 2 处理的效果边缘比较清楚,且噪声比较少。图版 I 中的图 5、图 6 分别为 \log 算子^[2]和 $robison$ 算子^[3]处理后的图象,通过比较,该处理方法效果很明显。另外,参数阈值、法线长度、带宽均可以改变,而且处理图象的范围也很灵活。这样,处理不同的图象可以采用不同的参数,以便得到理想的结果。

4 结束语

该方法是根据局部轮廓法线上亮度最小值来判别边缘轮廓的,而且随着图象局部亮度的变化,其最小值也会随着变化,就像山谷一样,绝不会在一个水平面上,它也会随地势变化而变化,因而可以用来查找边缘轮廓法线上亮度的极小值。该方法的特点是可以自适应周围象素亮度值来判断物体边缘,即通过对轮廓法线上亮度的极小值与轮廓法线上亮度的极大值进行比较,来判断“山谷”的周围是否有“悬崖峭壁”,如果有,则可以认定是边缘轮廓,否则就是一个小泥坑(即噪声)。

参考文献

- 1 Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations. IEEE Trans on pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583598.
- 2 王积分,张新荣编著. 计算机图形识别(第1版). 北京:中国铁道出版社,1988年.
- 3 沈清,汤霖编著. 模式识别导论(第1版). 北京:国防科技出版社,1991年.

吕植勇 1964年生,工程师,1987年获武汉水运工程学院港口机械设计与制造专业学士学位,现在攻读武汉理工大学博士学位,研究方向为虚拟现实。



图1 试验原图

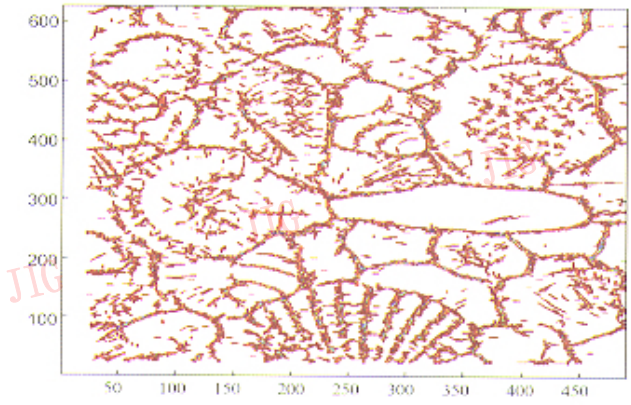


图2 带宽=5、带长=15、切线宽=5、阈值=100处理图

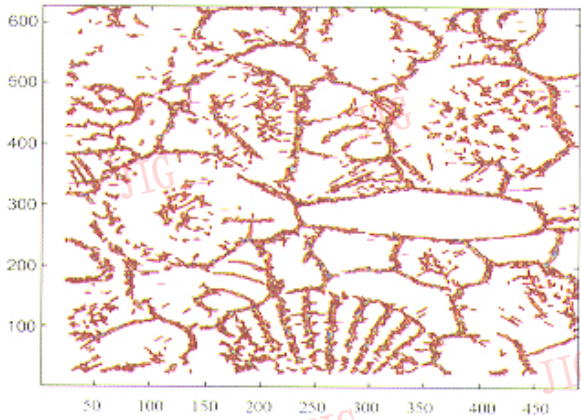


图3 带宽=5、带长=15、切线宽=5、阈值=160处理图

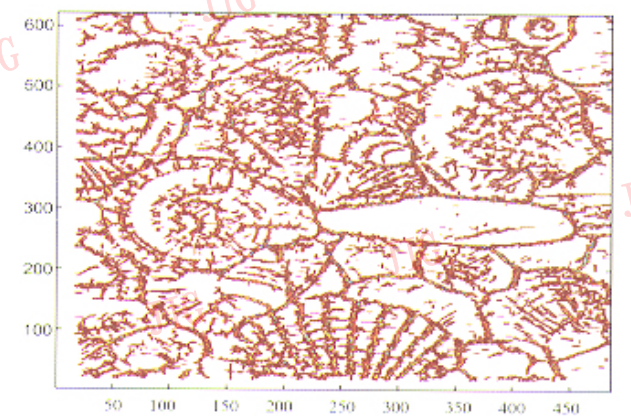


图4 带宽=5、带长=10、切线宽=5、阈值=50处理图

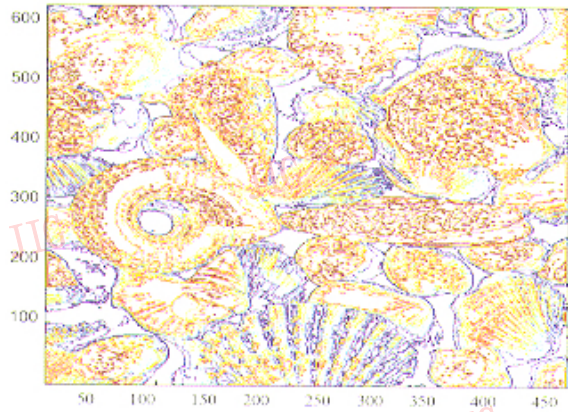


图5 log 算子处理效果

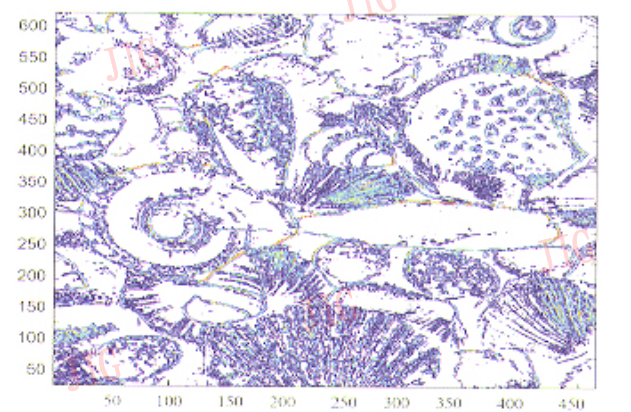


图6 robison red 算子处理效果