

一种新的基于连通成分的边缘评价方法

林 卉<sup>1</sup>, 舒 宁<sup>2</sup>, 赵长胜<sup>1</sup>

(1. 徐州师范大学工学院, 徐州 221011; 2. 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079)

**摘要:** 考虑到边缘局部相关性的特点, 提出了一种新的边缘评价方法。该方法不需要标准边缘图, 直接对边缘图求取总的边缘点数( $A$ )、4-连通成分数( $B$ )、8-连通成分数( $C$ )以及它们之间比值( $C/A$ 、 $C/B$ ), 并进行综合评价。实验结果表明, 该评价方法实用性强, 具有一定的参考价值。

**关键词:** 边缘检测; 连通成分; 序贯算法; 边缘评价

**中图分类号:** TP 75   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1001-070X(2003)03-0037-04

0 引言

在图像边缘检测中, 检测结果的优劣需要一个客观的评价方法。Kitchen 提出的基于边缘局部相关性的方法只评价检测出的边缘线型连接程度, 不考虑边缘的错检、漏检以及边缘的偏移问题, 因此, 对加噪图像检测出的边缘, 评价结果欠准确; Venkatesh 是在标准边缘图的基础上, 判断检测结果中错检、漏检、边缘偏移以及重检的情况。虽然, 后者比前者的评价结果更准确, 但它需要标准边缘图作参考, 而在实际应用中, 标准边缘图很难得到。为此, 本文提出一种新的边缘检测评价方法, 即基于边缘点数( $A$ )、4-连通成分数( $B$ )、8-连通成分数( $C$ )以及它们间比值( $C/A$ 、 $C/B$ )的边缘评价方法。该方法是一种基于边缘局部相关性的方法,  $C/A$ 、 $C/B$  大小反映了边缘线型连接程度, 而边缘线型连接程度对总体边缘评价的影响体现在错检和漏检中, 当边缘连接程度很差时, 错检、漏检就多, 反之, 边缘连接程度越高, 错检、漏检少, 提取的边缘效果越好。

1 基本原理

边缘图像是一幅二值化图像, 它的像素值只取 0 和 1。边缘点数就是累计检测出的边缘图中值为 1 的像素数。提取的边缘点数越多, 说明边缘提取的

效果就越好。对于一个像素集合, 如果集合内的每一个像素与集合内其它像素连通, 就称该集合为一个连通成分。4-连通成分就是指它在 4-邻域内是否有与它连通的像素, 如果有, 就可把它们称为一个 4-连通成分。同理, 8-连通成分指它在 8-邻域内的连通情况, 如图 1 所示。

	$[i-1, j]$	
$[i, j-1]$	$[i, j]$	$[i, j+1]$
	$[i+1, j]$	

(a) 4-邻域

$[i-1, j-1]$	$[i-1, j]$	$[i-1, j+1]$
$[i, j-1]$	$[i, j]$	$[i, j+1]$
$[i+1, j-1]$	$[i+1, j]$	$[i+1, j+1]$

(b) 8-邻域

图 1 邻域结构示意图

当求出了边缘图中的边缘点总数( $A$ )、4-连通成分数( $B$ )和 8-连通成分数( $C$ )后, 就可以用数学归纳法证明  $C/A$ 、 $C/B$  数值越小, 线型连接程度越好, 提取的边缘效果越好。具体步骤如下:

(1) 假设某一幅被检测出边缘图中的灰度值均为 1, 则它的 4-连通成分和 8-连通成分个数都为 1, 这样它们间的比值( $C/A$ 、 $C/B$ )为最小, 而此时的边缘图的连接程度是最好的。

(2) 假设用某两种不同的算子检测出两幅边缘图, 且它们的边缘点总数相等, 如图 2 所示。在左图中, 边缘线出现了断点, 可见它的线型连接程度明显

没有右图中边缘线的连续性好。而左图中的 4—连通成分数、8—连通成分数均为 2, 右图中均为 1, 这样右图中  $C/A$ 、 $C/B$  的值要小于左图中的值, 而从

视觉上可直观地看出左图的线形连续性要比右图的差。这充分说明, 当  $C/A$ 、 $C/B$  比值越小时, 它的线型连接性越好。

1	1							
1	1	1						
		1	1	1				
			1	1	1			
				1	0	0		
					0	1	1	
						1	1	1
							1	1
							1	1

1	1							
1	1	1						
		1	1	1				
			1	1	1			
				1	1	1		
					1	1	1	
						1	1	1
							1	1
							0	0

图 2 线型连接程度对比图

(3)依此类推, 一般情况下, 从逻辑上考虑, 对任意边缘图像, 当它的边缘线型连接程度越好时,  $C/A$ 、 $C/B$  的比值就会越小。

因此, 可采用总边缘点数( $A$ )和  $C/A$ 、 $C/B$  作为衡量线型连接程度的重要指标, 这些数值越小, 说明线型连接程度越好, 提取的边缘效果越好。可以证明, 在一般情况下, 对任意边缘图像, 当它的边缘线型连接程度越好时,  $C/A$ 、 $C/B$  的比值就会越小。因此, 可采用  $C/A$ 、 $C/B$  值作为衡量线型连接程度的指标, 尤其  $C/B$  值的权重最大, 这些数值越小, 说明线型连接程度越好, 因而可证明提取的边缘效果越好。

## 2 求解连通成分的算法

求解连通成分数的算法采用序贯算法, 该方法通常对图像进行二次处理。这一算法可以查看某一点的邻点, 并且可以给像素值为 1(即为边缘点)的邻点分配一个已经使用过的标记。如果图像的邻点有两种不同的标记, 则用一个等价表来记录所有的等价标记。在第二次处理过程中, 使用这一等价表来给某一连通成分中的所有像素点分配唯一的标记。以求解 4—连通成分数为例, 具体算法如下:

(1)对边缘图依次从左至右、从上到下扫描两行图像。

(2)如果像素点值为 1, 则判为边缘点, 然后, 进行下面的处理:

①如果上面点  $[i-1, j]$  和左面点  $[i, j-1]$  有一个标记, 则复制这一标记;

②如果两点有相同的标记, 复制这一标记;

③如果两点有不同的标记, 则复制上面点的标记, 且将两个标记输入等价表中作为等价标记;

④否则, 给这一像素点分配一个新的标记, 并将

这一标记输入等价表。

(3)在等价表每一等价集中找到最低的标记。

(4)扫描图像, 用等价表中的最低标记取代每一标记。

(5)在找到所有的连通成分后, 将等价表作为查找表对图像重新扫描, 以统计图像中所有的连通成分个数。

本算法在从左到右、从上到下扫描图像时, 仅能查询到某一像素点的 4 邻点中的两个邻点, 即上点与左点。设算法已经查到了该像素的这两个邻点, 此时可能出现 3 种情况:

①如果两个邻点中没有一点为 1, 则该像素点需要一个新标记  $L$ ,  $L$  为搜索到的连通成分个数序号;

②如果两个邻点只有一点为 1, 且已分配了标记  $L$ , 那么该像素点的标记也为  $L$ ;

③如果两个邻点都为 1, 且已分配了标记  $L$ , 则该像素点的标记还是  $L$ 。

但是, 当邻点被分配了不同标记  $M$  与  $N$  时, 这两个标记被用于同一组元, 应该把它们合并。在这种情况下, 应把其中的一个标记(一般选用最小的那个标记)分配给该像素点, 并在等价表(equivalent table)中登记为等价标记。等价表包含了给每一连通成分分配唯一标记的信息。在第一次扫描中, 所有属于同一连通成分的标记被视为是等价的, 在第二次扫描中, 从一个等价集(equivalent set)中选择一个标记并分配给连通成分中所有像素点。通常将最小的标记分配给一个连通成分。第二次扫描将给每一连通成分分配唯一的标记。

同理, 8—连通成分也采用序贯算法, 其步骤类似 4—连通成分算法, 只不过它依次扫描 3 行图像, 依次考察 8—邻域中的  $[i-1, j-1]$ 、 $[i-1, j]$  及  $[i, j-1]$  等 3 点的值而已。这样就可以求出边缘图

中的 4—连通成分和 8—连通成分个数。

### 3 实验结果与结论

实验采用原始 TM 图像, 图像大小为 256 像元 × 256 像元(图 3)。



图 3 原始 TM 图像

对原始图像分别采用 Sobel、Roberts、Log 和 Canny 算子进行边缘提取, 结果如图 4 所示。

经典的 Sobel 算子、Roberts 算子是属于一阶导

数的边缘检测器, 如果图像的一阶导数高于某一阈值, 则可确定为边缘点, 这样会导致检测的边缘点太少。而一阶导数的局部最大值恰恰对应着二阶导数的零交叉点, 这样, 通过找图像强度的二阶导数零交叉点就能精确找到边缘点。这就出现了二阶微分算子如 Laplacian 算子, 利用图像强度二阶导数的零交叉点来求边缘点的算法对噪声仍然很敏感, 为此, Marr 和 Hildreth 将高斯滤波和 Laplacian 边缘检测结合在一起形成了 Log 算子, 它是在边缘增强前滤除噪声, 结果显示它在噪声抑制和边缘检测精度之间起到很好的调和作用。坎尼 (Canny) 提出了描述最佳边缘检测的 3 个准则, 并导出了相应的 Canny 算子。3 个准则分别是信噪比准则、定位精度准则及单边缘响应准则。Canny 算子基于一般梯度边界模型, 并结合信噪比准则和定位精度准则, 采用非极大值抑制方法把检测出的边缘细化成只有一个像素点宽, 为了剔除由噪声和细纹理引起的假边缘, 它又对非极大值抑制图像运用了双阈值来处理, 最后得到的边缘图效果非常好。



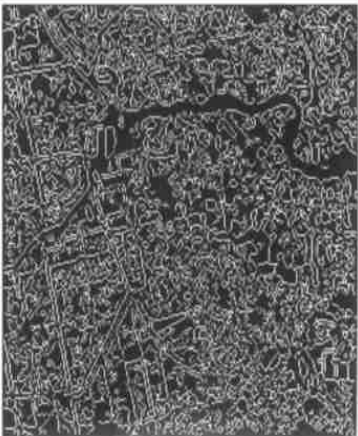
(a) Sobel 算子边缘图



(b) Roberts 算子边缘图



(c) Log 算子边缘图



(d) Canny 算子边缘图

图 4 边缘检测图

从边缘图上可以很直观地看出,图 4(a)和(b)中检测出的边缘数很少,边缘欠完整,且受噪声干扰较大;图 4(c)和(d)中边缘的连续性较好,完整性也占优,但相比之下,图 4(c)中的边缘很粗,噪声点很多,而图 4(d)中的边缘连接程度最佳,地物的细节体现得最明晰,水体轮廓边缘提取得很完备,这对遥感图像分析和理解非常有利。

从定量上分析,可以得出上述 4 幅边缘图的统计数据,如表 1 所示。

表 1 边缘图统计数据表

项目	算 子			
	Sobel	Roberts	Log	Canny
$A(\times 10^4)$	0.803 7	0.568 5	1.621 3	1.805 8
$B$	2 940	2 264	5 258	8 352
$C$	1 002	1 645	1 158	873
$C/A$	0.124 7	0.289 4	0.071 4	0.048 34
$C/B$	0.340 8	0.726 6	0.220 2	0.104 5

从表 1 可以看出, Sobel 算子和 Roberts 算子提取的边缘点数较少,而且还包含了许多由噪声引起的错检边缘点,因而它们检测到的有效边缘点数就更少。在由 Log 算子和 Canny 算子提取的边缘图中,边缘点数明显要多于 Sobel 算子和 Roberts 算子提取的边缘点数。从理论上分析, Log 算子和 Canny 算子抗噪声能力很强,边缘检测的精度也很高,边缘线型连接程度很好,提取的边缘实际效果很理想。

按照评价指标,在表(1)中, Log 算子和 Canny 算子边缘图的  $C/A$ 、 $C/B$  值要比其余两种算子的值小得多,尤以 Canny 算子最小。这表明 Log 算子和 Canny 算子提取的边缘图的线型连接程度较好,效果最佳。这一结论与人的视觉特性是非常吻合的。

试验表明,基于连通分量的边缘评价方法,无论从理论上分析,还是从数据上统计,这一评判标准与边缘图的实际效果是一致的,该方法体现了人的视觉特性,评价结果是客观合理的,不失为一种有效简便的边缘评价方法。

参考文献

[ 1 ] 贾云得. 机器视觉[ M] . 北京: 科学出版社, 2000.  
[ 2 ] 章毓晋. 图像分割[ M] . 北京: 科学出版社, 2000.  
[ 3 ] 王润生. 图像理解[ M] . 长沙: 国防科技大学出版社, 1995.  
[ 4 ] 杨恒. 一种基于区域一致性的边缘评价方法[ J] . 中国图象图形学报, 1999, 4(3): 234—238.  
[ 5 ] Canny J.A computational approach to edge detection[ J] . IEEE—PAM 1986, 8: 679—698.  
[ 6 ] Spacek L.A. Edge detection and motion detection[ J] . Image and Vision Computing, 1986, 4(1):43—56.  
[ 7 ] Deriche R . Optimal edge detection using recursive filtering[ A] . Proceedings of 1st ACC V[ C] . 1987.  
[ 8 ] Kirchen L, Rosenfeld A. Edge evaluation using local edge coherence [ J] . IEEE Trans Syst Man, Cybem, 1981, 11(9): 597—605.  
[ 9 ] Marr D, Hildreth E. Theory of edge Detection[ M] . London: Proc Roy Soc, 1980.

A NEW EDGE EVALUATION METHOD BASED ON CONNECTION COMPONENTS

LIN Hui<sup>1</sup>, SHU Ning<sup>2</sup>, ZHAO Chang—sheng<sup>1</sup>

(1. Engineering College, Xuzhou Normal University, Xuzhou 220079, China; 2. School of Information Engineering in Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** With the characteristics of edge partial correlation in mind, the authors put forward in this paper a new edge evaluation method. This method needs no standard edge diagram, and can directly figure out number of total edge points ( $A$ ), number of 4—connection components ( $B$ ) and number of 8—connection components ( $C$ ) as well as their ratios ( $C/A$  and  $C/B$ ) relative to the edge diagram, thus making an integrated evaluation. With strong practical applicability, this method has some referential significance.

**Key words:** Edge detection; Connection component; Sequential algorithm; Edge evaluation.

第一作者简介: 林 卉(1973—), 男, 硕士, 主要从事摄影测量与遥感图像处理的教学和科研工作。

(责任编辑: 刁淑娟)