

LI Hui, XIAO Pengfeng, FENG Xuezi, et al. Multiscale Edge Detection in Multispectral Remotely Sensed Imagery Based on Vector Field Model[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2012, 41(1):100-107. (李晖, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 基于向量场模型的多光谱遥感图像多尺度边缘检测[J]. 测绘学报, 2012, 41(1):100-107.)

基于向量场模型的多光谱遥感图像多尺度边缘检测

李 晖¹, 肖鹏峰¹, 冯学智¹, 冯 莉², 王 珂¹

1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 斯图加特大学 区域发展规划研究所, 斯图加特 70569

Multiscale Edge Detection in Multispectral Remotely Sensed Imagery Based on Vector Field Model

LI Hui¹, XIAO Pengfeng¹, FENG Xuezi¹, FENG Li², WANG Ke¹

1. Department of Geographical Information Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Institute of Regional Development Planning, Stuttgart University, Stuttgart 70569, Germany

Abstract: A novel algorithm to detect the multi-scale edge features on multispectral remotely sensed imagery was proposed, and two different neighborhood models in the algorithm was introduced to lead to locate edge points more complete. Firstly, multispectral images are defined by using of the vector field model. And then the dyadic wavelet transform is applied to produce the multi-scale edge detail coefficients, and first fundamental form is used for detecting the gradient magnitude and orientation of multispectral images at different levels. Lastly, edge points are located along with the quantified orientation of gradient by using the optimal neighborhood model at different scales. A variety of experiments by using QuickBird multispectral images of Nanjing area were presented to demonstrate the representation efficient. It is shown from the results that the edge information of the objects, i. e. factory, paddy, can be detected clearly from coarse to fine at different scale levels. The relationship of the size of the ground features between the spatial resolution of image was analyzed and to try to find a suitable level to demonstrate the feature of different objects. And the local maximum of the gradient magnitude provides information of the image edge feature which can be detected from the gradient modulus along with the quantified gradient orientation. Quantification of the gradient orientation should consider the direction of objects in the image. Using F -measure, the results by the proposed method has higher precision than the traditional edge detectors.

Key words: multispectral remotely sensed imagery; edge detection; multi-scale; vector field model; dyadic wavelet transform

摘 要: 提出一种基于向量场模型的多光谱图像多尺度边缘检测算法,并在算法中引入两种梯度方向量化邻域模型。首先,对多光谱图像进行二进小波变换,得到每个波段图像在不同尺度上的细节系数,然后根据向量场模型计算多光谱图像的梯度幅值和梯度方向,选择适宜的邻域模型对梯度方向进行量化,最后沿量化后的方向获取由细到粗的多层次边缘信息。对 QuickBird 多光谱图像上农田、厂房等地物进行多尺度边缘提取,定性分析图像分辨率大小与地物尺寸关系在不同尺度边缘信息的表征;利用 F 测度,定量评价检测结果的边缘准确度。与传统算子检测结果对比表明,利用向量场模型综合所有波段的边缘信息,减少多波段图像边缘信息的不一致性,引入的量化邻域模型能够有效地获取完整的多尺度边缘点。

关键词: 多光谱遥感图像;边缘检测;多尺度;向量场;二进小波变换

中图分类号: TP751.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-1595(2012)01-0100-08

基金项目: 国家 863 计划(2008AA12Z106); 国家自然科学基金(40801166); 高等学校博士学科点专项科研基金(200802841012)

1 引 言

高分辨率遥感图像的边缘集中了图像的大部分信息,它的确定与提取对于整个图像的识别与

理解是非常重要的^[1]。目前,对高分辨率遥感图像的理解与识别已展开了大量的研究,尤其是城市道路、建筑物的提取^[2-3],但主要集中在单波段(即全色波段)图像的研究上。比起单波段图像,

多光谱图像具有丰富的光谱信息,为地物的边界和地物目标的识别创造了良好的条件^[4]。随着多光谱图像空间分辨率的提高,对多光谱图像处理的要求也越来越高。

自文献^[5]给出了 3 种定义彩色图像边缘的方法以来,发展了大量的彩色图像边缘检测方法:灰度检测算子的扩展,即先对彩色图像每个波段分别进行检测,再将结果进行综合^[6],或者将多维图像变换到低维空间进行检测。本质上讲,这些方法还是灰度边缘检测的方法,没有建立多光谱边缘检测的理论与方法。利用灰度算子检测边缘,图像中某一个点在 3 个波段上虽具有相同的梯度模,但可能有不同的方向,进行综合提取多光谱图像边缘容易造成边缘漏检和伪边缘。同时,卫星传感器的不同波段探测的是地物的不同物理化学特性,地物边缘在不同波段图像会在不同程度上存在不一致,降维处理会引起地物边界出现较大的不确定性。

遥感数据反映传感器接收到的地表能量,是平方可积的离散函数,可以利用相互正交的 L^2 空间中的向量分析方法进行分析。根据向量场模型,多光谱遥感图像可视为一个二维、多属性的向量场,像元的多光谱数据为一个向量,则图像上地物边界的确定问题可转换为微分几何的高维曲面邻域差分问题,可以运用“第一基本形式(first fundamental form, FFF)”^[7]进行求解。FFF 只能用来刻画图像单个尺度的变化信息。在高分辨率遥感图像上,需要检测不同尺寸大小的多个目标,边缘信息的表征也常会存在于多个尺度,难以确定唯一尺度以适应遥感图像上不同目标的识别^[8]。小波变换能够提供多分辨率分析并且具有较好的时频变化特性,能够在尺度下抑制噪声,可靠地识别边缘,在小尺度下精确定位。

本文提出一种结合向量场模型和小波变换的高分辨率多光谱图像的多尺度边缘检测算法,并在算法过程中引入两种梯度方向量化邻域模型。首先,对多光谱图像进行二进小波变换,获取不同尺度的小波细节系数,根据 FFF 计算梯度幅值和梯度方向,最后根据非极大值抑制算法对梯度幅值进行细化,获取边缘点。其中,在利用梯度方向进行模极大值检测过程中,发现量化的梯度方向对提取地物边缘的完整性具有一定的影响,需要根据图像地物结构的方向选择适宜的量化邻域模型。选用 Quikbird 多光谱图像中多种地物类型

进行试验,采用 F 测度^[9]对试验结果进行精度评价,并与传统算子检测结果进行比较。

2 基于向量场的图像边缘检测原理

2.1 第一基本形式

根据黎曼几何,对于具有 n 个波段的连续多值图像 I_n , $n=1, \dots, N$, 像素点对应在向量空间 I^n 中的对应矢量 $I=[I_1(x, y) \ I_2(x, y) \ \dots \ I_n(x, y)]$ 。在欧氏空间内,考虑其一阶微分形式^[7] $dI = \frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy$, dI 反映两个无限邻近点之间的距离,定义其作为向量图像的“第一基本形式”,即三维曲面上沿任一给定方向的弧长微元的平方的表达式为

$$\|dI\|^2 = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \sum_n \left(\frac{\partial I_n}{\partial x}\right)^2 & \sum_n \frac{\partial I_n}{\partial x} \frac{\partial I_n}{\partial y} \\ \sum_n \frac{\partial I_n}{\partial x} \frac{\partial I_n}{\partial y} & \sum_n \left(\frac{\partial I_n}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} G^{xx} & G^{xy} \\ G^{xy} & G^{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,非负对称矩阵 $\begin{bmatrix} G^{xx} & G^{xy} \\ G^{xy} & G^{yy} \end{bmatrix}$ 的特征向量反映了该多光谱图像的最大和最小变化方向,相应的特征值反映了其变化率的大小。

对于灰度图像,最大的特征值就是其差分的模平方,即梯度幅度的平方,相应的特征向量位于最大梯度的方向上;其他特征值皆为 0。多值图像所有的特征值都不为 0。当特征值 $\lambda_1 \gg \lambda_2$ 时,不同波段之间的梯度方向在同一个方向上(相同或者相反);当 $\lambda_1 \approx \lambda_2$ 时,不同波段之间的梯度方向无优先顺序。但在任何情况下,较大的特征值 λ_1 都能够提供充足的多值图像的边缘信息^[10]。以下均以 I_n 代表为多光谱图像, I 为单波段图像。

2.2 二进小波变换和多尺度基本形式

设 $\theta(x, y)$ 为二维可微平滑函数,对 x 和 y 的积分都是 1,且在无穷远处收敛到 0。定义

$$\left. \begin{aligned} \varphi^1(x, y) &= \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \\ \varphi^2(x, y) &= \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

为小波函数。在 $L^2(R^2)$ 中,二维图像 $I(x, y)$ 在尺度为 2^j 上的二进小波变换为

$$\left. \begin{aligned} L_{2^j} &= I(x, y) * \theta_{2^j}(x, y) \\ D_{2^j}^1 &= L_{2^j} * \varphi_{2^j}^1(x, y), D_{2^j}^2 = L_{2^j} * \varphi_{2^j}^2(x, y) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中, * 为卷积运算; L_{2^j} 、 $D_{2^j}^1$ 和 $D_{2^j}^2$ 分别是 I 的 j 级低通分量和两个高通分量。可以证明

$$\begin{bmatrix} D_{2^j}^1(x, y) \\ D_{2^j}^2(x, y) \end{bmatrix} = 2^j \begin{bmatrix} \frac{\partial(\mathbf{I} * \theta_{2^j}(x, y))}{\partial x} \\ \frac{\partial(\mathbf{I} * \theta_{2^j}(x, y))}{\partial y} \end{bmatrix} = 2^j \nabla(\mathbf{I} * \theta_{2^j})(x, y) \quad (4)$$

小波变换后的两个细节分量同梯度矢量 $\nabla(\mathbf{I} * \theta_{2^j})(x, y)$ 的两个分量成正比。在尺度 2^j 上, 梯度矢量的模正比于小波变换的模

$$M_{2^j} \mathbf{I}(x, y) = \sqrt{|D_{2^j}^1(x, y)|^2 + |D_{2^j}^2(x, y)|^2} \quad (5)$$

梯度矢量与水平方向的夹角(相角)为

$$A_{2^j} \mathbf{I}(x, y) = \arctan\left(\frac{D_{2^j}^2(x, y)}{D_{2^j}^1(x, y)}\right) \quad (6)$$

在尺度 2^j , 平滑后图像中尖锐变化的地方使梯度模函数沿幅角有极大值点, 该极大值点即为图像的边缘。对于二维图像上一点 (x, y) , 可以根据公式(6)给出的方向对小波变换的模进行局部模极大值检索获取图像的边缘点。

对于多值图像 $I_n, n = 1, \dots, N$, 根据 FFF, $(I_n * \theta_{2^j}^i)(x, y)$ 微分形式的平方模为

$$\begin{aligned} \|\mathbf{d}(I_n * \theta_{2^j}^i)\|^2 &= \\ 2^{-2j} \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}^T &\begin{bmatrix} \sum_n (D_{n,2^j}^1)^2 & \sum_n (D_{n,2^j}^1 D_{n,2^j}^2) \\ \sum_n (D_{n,2^j}^1 D_{n,2^j}^2) & \sum_n (D_{n,2^j}^2)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} = \\ 2^{-2j} \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}^T &\begin{bmatrix} G_{2^j}^{xx} & G_{2^j}^{xy} \\ G_{2^j}^{xy} & G_{2^j}^{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

式中, $D_{n,2^j}^1$ 和 $D_{n,2^j}^2$ 为第 n 波段图像在第 j 级尺度

上的细节分量。 $G_{2^j} = \begin{bmatrix} G_{2^j}^{xx} & G_{2^j}^{xy} \\ G_{2^j}^{xy} & G_{2^j}^{yy} \end{bmatrix}$ 的特征根可用

下式简化计算

$$\lambda_{2^j}^{\pm} = \frac{G_{2^j}^{xx} + G_{2^j}^{yy} \pm \sqrt{(G_{2^j}^{xx} - G_{2^j}^{yy})^2 + 4(G_{2^j}^{xy})^2}}{2} \quad (8)$$

对应的特征向量为 $\mathbf{v}_{2^j}^{\pm} = (\cos\theta_{\pm}, \sin\theta_{\pm})$, 其中,

$$\theta_+ = \frac{1}{2} \arctan \frac{2G_{2^j}^{xy}}{G_{2^j}^{xx} - G_{2^j}^{yy}}, \theta_- = \theta_+ + \frac{\pi}{2}.$$

表达式(7)称为第 j 尺度基本形式, 反映了平滑后的图像在 2^j 尺度上的边缘信息。对于多值图像中的给定像素点, 矩阵 G_{2^j} 的特征向量 $\mathbf{v}_{2^j}^+$ 和 $\mathbf{v}_{2^j}^-$ 代表了其最大和最小变化方向, 特征值 $\lambda_{2^j}^+$ 和 $\lambda_{2^j}^-$ 则表示其相应的变化幅值。特征值和特征向量在图

像平面上构成椭圆, 椭圆的长轴表示 2^j 尺度的梯度主方向, 短轴代表梯度主方向周围的差异值。

当 $N=1$ 时, 即灰度图像, 矩阵 G_{2^j} 的秩为 1, 最小特征值 $\lambda_{2^j}^- = 0$, 即椭圆短轴为 0, 最大特征值 $\lambda_{2^j}^+ = 2^{-2j} [(D_{2^j}^1)^2 + (D_{2^j}^2)^2] = \|\nabla(\mathbf{I} * \theta_{2^j})\|$ 为平滑后图像在第 j 尺度的梯度幅值, 指向图像 j 尺度的梯度最大方向; 当 $N > 1$ 时, 即多值图像, $\lambda_{2^j}^-$ 不一定为 0。边缘信息包含在矩阵 G_{2^j} 两个特征值和对应的特征向量中。图像 I_n 在第 j 尺度上的 4 个细节图像表示为

$$\left. \begin{aligned} D_{2^j}^{1,+}(x, y) &= \sqrt{\lambda_{2^j}^+} \mathbf{v}_{2^j, x}^+(x, y) \\ D_{2^j}^{2,+}(x, y) &= \sqrt{\lambda_{2^j}^+} \mathbf{v}_{2^j, y}^+(x, y) \\ D_{2^j}^{1,-}(x, y) &= \sqrt{\lambda_{2^j}^-} \mathbf{v}_{2^j, x}^-(x, y) \\ D_{2^j}^{2,-}(x, y) &= \sqrt{\lambda_{2^j}^-} \mathbf{v}_{2^j, y}^-(x, y) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

由式(7)得到的多值图像不同尺度下的局部变化量远大于单个图像分量给定像素点的变化量, 且其特征向量没有唯一确定。文献[10]用图像小波变换的平均值来确定特征向量及其方向。

2.3 基于向量场边缘检测和梯度方向量化

在有噪音环境下进行图像的边缘特征识别, 需要在噪音抑制和边缘准确定位之间进行均衡, B 样条小波边界检测算子在边界检测综合性能指标上是最佳的, 文献[11]从时频局部化的角度对不同次数的 B 样条函数作分析, 认为三次 B 样条在作为平滑函数边缘提取中是渐进最优的。

故选用三次 B 样条函数作为平滑函数, 其一阶导数作为小波函数。根据公式(3), 获取多光谱图像 I_n 经过三次 B 样条函数平滑后的梯度, 根据式(6)和式(7)计算在 2^j 尺度上, 多光谱图像 I_n 的梯度幅值和梯度方向。

根据文献[8], 本文中, 在第 j 尺度上, 对图像的给定像素点 (x, y) , 取多光谱图像梯度向量的模为

$$Grad_{2^j} = \sqrt{\lambda_{2^j}^+ - \lambda_{2^j}^-} \quad (10)$$

梯度的方向即相角取为 θ_+ , 模 $Grad$ 沿 θ_+ 的局部极大值点, 即图像的边缘点。不同波段图像梯度方向存在一定的差异, 当不同波段图像梯度具有相同幅值但方向相反时, 直接进行梯度矢量求和结果的梯度值为 0, 在进行多光谱图像边缘特征重构时必须考虑量化梯度方向问题。在遥感图像上, 地物类型复杂, 可只考虑每个像素点的 8 邻域方向, 即 8 个区间, 当 θ_+ 在某一区间内, 可量化为由该区间内中间梯度方向表示的特征矢量,

相反的梯度方向具有相同的影响,8 邻域梯度方向可量化为 0° 、 45° 、 90° 和 135° 4 个方向,量化后梯度方向指向梯度的模极大值的方向。图 1(a) 为根据 8 邻域方向进行量化,实线指向量化后的梯度方向:① 若 $\theta_+ \in [-22.5^\circ, 22.5^\circ) \cup [157.5^\circ, 180^\circ) \cup [-180^\circ, -157.5^\circ)$, $\theta = 0^\circ$ 或 180° (此处取 0°);② 若 $\theta_+ \in [22.5^\circ, 67.5^\circ) \cup [-157.5^\circ, -112.5^\circ)$, $\theta = 45^\circ$;③ 若 $\theta_+ \in [67.5^\circ, 112.5^\circ) \cup [-112.5^\circ, -67.5^\circ)$, $\theta = 90^\circ$;④ 若 $\theta_+ \in [112.5^\circ, 157.5^\circ) \cup [-67.5^\circ, -22.5^\circ)$, $\theta = 135^\circ$ 。

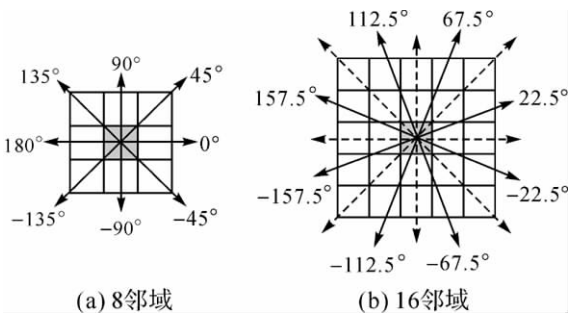


图 1 梯度方向量化

Fig. 1 Gradient orientation quantification

在试验中发现,针对高分辨率图像中具有明显方向性且该方向与 8 邻域方向有所偏移的地物,仅考虑 8 邻域是不够的,在根据梯度方向检测边缘点的过程中会丢失部分边缘点,需要分析地物纹理方向与量化梯度方向之间的关系,并对量化区间进行适当的调整,可以进一步细化为 16 邻域方向。图 1(b) 为按 16 邻域进行梯度量化的方向,为显示需要,用实线表示细化补充的检测方向,虚线表示原始的 8 邻域方向。

3 试验及分析

3.1 基于向量场多尺度边缘检测试验

试验数据为南京幅 QuickBird (成像时间 2004-11-21) 图像,同时具有全色图像和多光谱图像,空间分辨率分别为 0.61 m 和 2.44 m。利用 PANSHARP 方法,将多光谱图像与全色图像进行融合,获取与全色图像相同的空间分辨率,又保持多光谱和边缘特性,图像质量得到显著增强。试验在融合后多光谱图像上裁取了厂房、农田等典型地物图像(512 像素 \times 512 像素)以及具有较多地物的图像(2048 像素 \times 2048 像素)。限于篇幅,所有图像都缩小显示,采用假彩色合成。算法流程如图 2 所示。

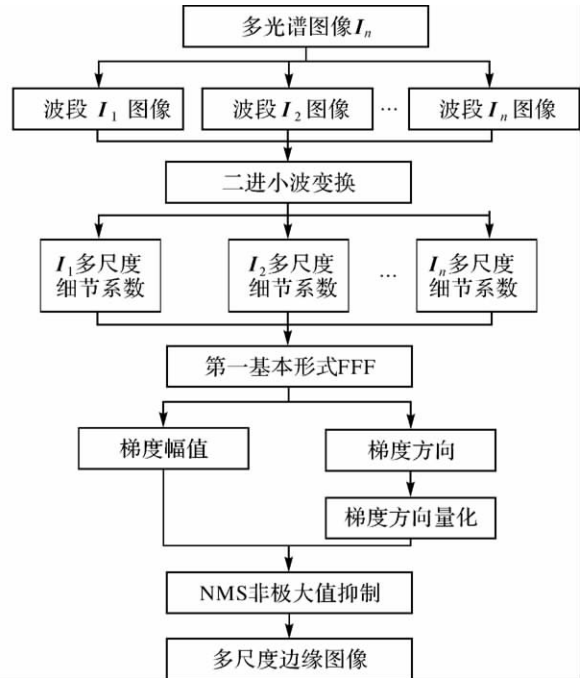


图 2 算法流程图

Fig. 2 Flowchart of the proposed method

3.2 多尺度边缘检测结果分析

小波变换时的边界条件采用镜面投影处理,每个尺度的小波变换都提供了一定的边缘信息,因此在图像边界,边缘可能产生失真,而且随着尺度的增大,失真越严重。所以,为保持边缘的准确性,一般取尺度数不宜超过 4,试验取次数为 3。从试验中也可以看出:前 3 个尺度之间的边缘像素的位移几乎可以忽略。

图 3 显示 QuickBird 多光谱图像上厂房多尺度边缘梯度特征。在 $j=1$ 尺度,厂房屋顶的细小结构检测出来,随着尺度的增大,厂房周围的植被信息被模糊,边缘特征突出了厂房的整体结构特征,表征整个图像的整体内容;图 4 是对农田的检测结果。图 4(b) 为最精细的边缘信息,包括农田内部的精细几何细节,但是需要提取的是规则的田埂以及因农田内部种植的不同作物而具有的不规则的边界。如图中白色框,随着尺度增加,农田内部不规则边缘信息也被检测,更加符合对农田信息提取的需求;图 5(a) 提供了更加丰富的地物信息,在 $j=1$ 尺度,精细的地物的边缘信息得到较为突出地检出。该类地物边缘大致占图像 3~30 像素,较之整幅图像大小(2048 像素 \times 2048 像素)该类地物属于最为精细纹理信息,且具有较强辐射特征。在该尺度形成的边缘特征较为连续完整,能够精确地确定边缘子像素位置;在 $j=2$ 和

3 的检测结果中,农田及右上方的河道的结构信息被检测出,显示了图像的结构信息。

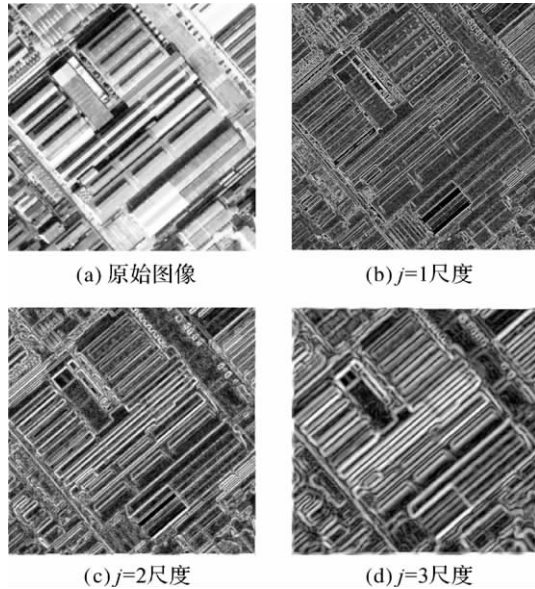


图 3 厂房图像多尺度边缘特征

Fig. 3 Multiscale edge detection results of factory at three scales

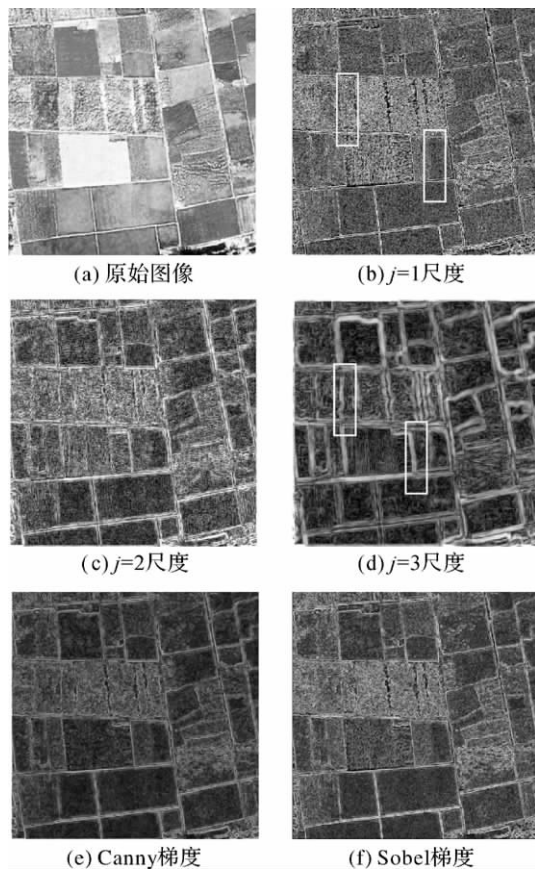


图 4 QuickBird 多光谱农田图像多尺度边缘特征

Fig. 4 Multiscale edge detection results at three scales and comparison with Canny, Sobel gradient

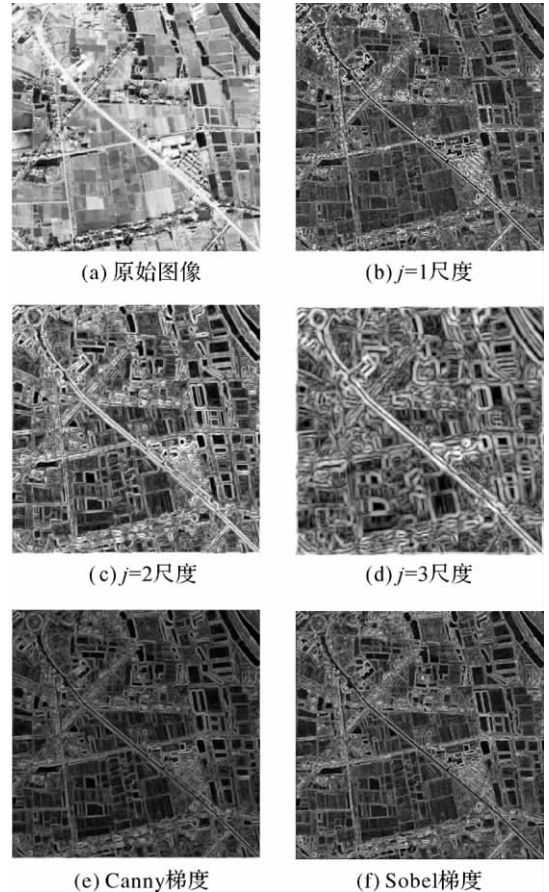


图 5 QuickBird 多光谱图像多尺度边缘特征

Fig. 5 Multiscale edge detection results at three scales and comparison with Canny, Sobel gradient

根据 Lam 等提出的 4 种空间尺度类型,即制图尺度或地图尺度、地理尺度、分辨率和运行尺度^[13]。试验中厂房屋顶精细的结构为 3~30 像素,稍大于图像分辨率, $j=1$ 尺度为较适宜尺度;在检测过程中,关注的是农田的规则田埂信息以及农田内部的不同类型作物间不规则的边缘信息,普遍地,农田的尺寸远大于图像分辨率,较为适合在较大尺度上检测。

对比经典算子的检测结果,考察图 4 和图 5, Canny 算子抑制噪声效果较好, Sobel 获取的边缘信息较为突出,但仅能提供图像单一尺度的边缘信息,在该尺度上,高分辨率图像地物目标内部精细的几何信息也都得到检出,但以噪声的形式存在。同时,综合每个波段图像的检测结果作为多光谱图像边缘,提取的梯度幅值较宽,在后续边缘细化过程中会有一定程度偏移。利用小波变换进行滤噪,小尺度下对边缘点精确定位,大尺度下滤除噪声。

3.3 梯度方向量化及非极大值检测试验

考虑梯度方向量化的邻域模型,量化梯度方

向,并进行模极大值检测。高分辨率图像地物目标内部具有非常精细的几何特征,获取的模极大值图像存在较多噪点,采用偏微分方程 (partial differential equations, PDE)^[14] 滤噪,能够很好地保持边缘,并有效去除图像的高斯和椒盐噪声。

图 6 中厂房结构的方向集中在 45° 和 135° , 即 8 邻域方向。从试验结果来看,在 $j=1$ 下,8 邻域将精细地物边缘点检出,连续并且完整;随着尺度的增加,检出的连续边缘点对结构性特征的表现更为突出,而 16 邻域边缘点则不连续;图 7 中农田边缘方向更多集中在 16 邻域方向,与 8 邻域方向有所差异。从检测结果(图中红色框所示)中亦可看出,利用 16 邻域对农田边缘点检测对提取具有完整连续的农田边缘信息更有优势。限于篇幅,文中未列出所有尺度下的检测结果。

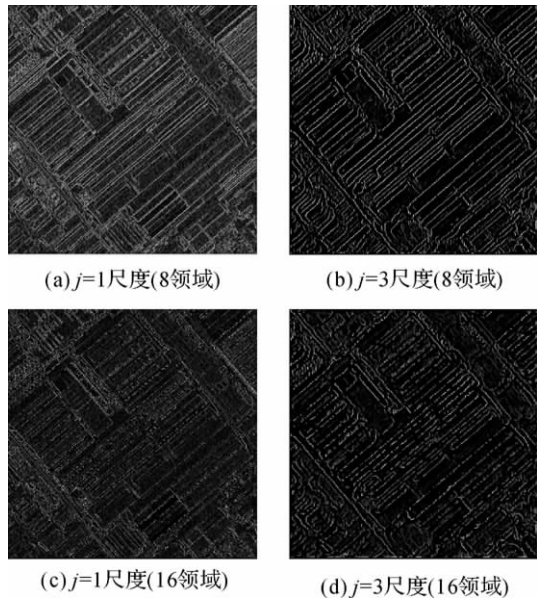


图 6 厂房细化边缘点结果对比(按两种邻域模型)

Fig. 6 Edge point location of factory image (based on eight and sixteen neighborhood)

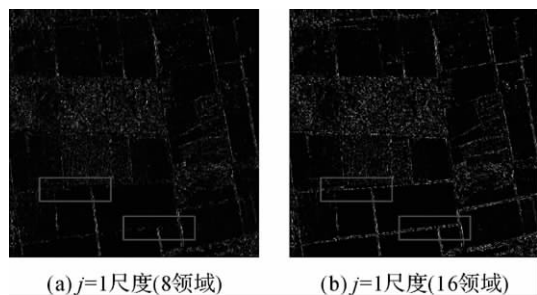


图 7 农田细化边缘点结果对比(按两种邻域模型)

Fig. 7 Edge point location of paddy image (based on eight and sixteen neighborhood)

对于具有较多地物的遥感图像,如图 5。根据 3.2 节分析可知, $j=1$ 和 $j=2$ 尺度主要提取道路信息, $j=3$ 尺度突出农田等结构信息。道路及建筑物信息方向集中于 8 邻域,而农田为 16 邻域,可在前两个尺度采用 8 邻域, $j=3$ 采用 16 邻域。试验亦获得了较好结果,限于篇幅,未列出结果图像。

通常情况下,利用 8 邻域进行梯度方向量化可以检测出足够的边缘信息。在对高分辨率图像典型地物进行特征检测时,可以考察图像纹理方向,选择合适的量化邻域模型,以能够获取更为符合实际的连续边缘点。试验表明,选用 16 邻域对计算效率影响不大。

3.4 精度评价

选用厂房图像作详细的对比分析和精度评价。考察图 8,本文算法将多光谱图像作为向量模型,充分利用多个波段信息,精确地确定边缘点位置,不会产生伪边缘,比零交叉更优越;获取的梯度特征大多为单像素宽,采用经典算子综合 4 个波段信息提取的梯度幅值较宽,梯度方向不稳定,Zerocrossing 结果中出现了部分伪边缘。

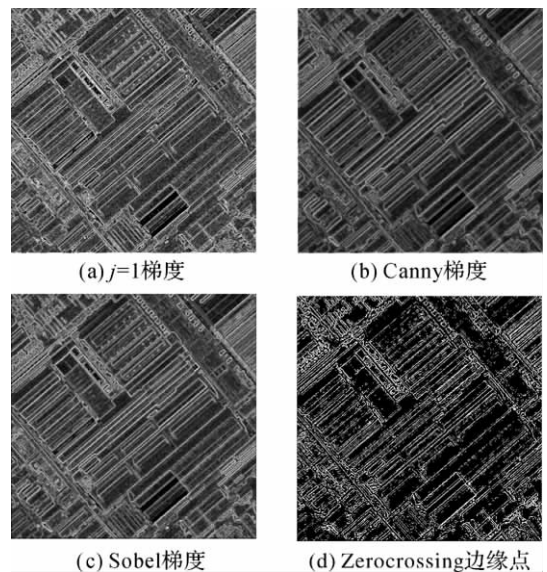


图 8 不同厂房边缘检测结果对比

Fig. 8 Edge detection result at $j=1$ scale of factory image compared with Canny, Sobel and Zerocrossing operator

对图 8 中梯度幅值进行模极大值检测获得单像素宽边缘,引入 F 测度 (F -measure) 对边缘准确度进行监督评价。 F 测度包括准确度 P 和召回度 R 两部分。精确度 P 指在一定误差距离范围内,边界像素在参考图中对应的点数目与分割

结果点数目的比值;召回度 R 指在一定误差距离范围内,参考图中边界像素在分割结果中对应的边缘点数目与参考图中所有边缘点的数目之比。根据文献[9],从过分割到欠分割, P 逐渐升高, R 逐渐下降,为均衡这种变化趋势,定义 F 测度为 $F = PR / (\alpha P + (1 - \alpha)R)$,用于表征边缘结果精度,其中 α 为权重,设定为 0.5。本文中的误差距离范围定为 2 个像素,结果如下。

表 1 F 测度精度评价Tab. 1 F -measure evaluation results

		P	R	F
本文 算法	$j=1$ 尺度	75.03%	86.27%	80.27%
	$j=2$ 尺度	69.96%	87.17%	73.22%
	$j=3$ 尺度	69.63%	56.81%	62.57%
	Canny	52.11%	89.11%	65.76%
	Sobel	84.99%	63.57%	72.73%
Zerocrossing		57.66%	83.20%	68.11%

根据参考图像,在 $j=1$ 到 3 的检测结果中, F 测度下降, P 稳定,表明即使经过小波变换,边缘点仍然能够精确定位, $j=3$ 结果 R 较低,是因为该尺度检测的主要是图像的结构信息,精细的边缘信息被忽略。Canny 和 Zerocrossing 的 P 较低,存在边缘漏检; R 较高,是因为综合 4 个波段的值梯度幅值较宽,边缘点较多,有一定伪边缘;Sobel 为经典的灰度检测算子, P 值较高,获得的边缘点定位精确,但有较多边缘漏检。总体上,本文算法能够获得较高的检测效果。

4 结 论

对同一空间分辨率的影像进行不同尺度的边缘信息检测,可以形成不同尺度的影像对象层次网络体系,不同地物由其最适宜的尺度来进行描述,并在该尺度上进行地物边缘信息的检测^[15]。在利用梯度方向进行边缘点检测的过程中,考察图像中地物方向与梯度方向量化邻域模型的关系,试验表明,针对不同地物类型选择不同的邻域模型进行边缘点提取,能够更加有效提取完整连续的边缘点,并获得较高的精度评价。

在后续研究中,将进行边缘综合和边缘连接试验,实现面向对象的图像分割。同时,可以进一步考虑地物大小与图像分辨率之间的关系在不同检测尺度上的表征,定量描述高分辨率图像上地物的适宜检测尺度,找到不同尺寸类型的地物在高分辨率图像分析中的最适宜尺度。

参考文献:

- [1] XIAO Pengfeng, FENG Xuezi, ZHAO Shuhe, et al. Segmentation of High-resolution Remotely Sensed Imagery Based on Phase Congruency[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36(2): 304-311. (肖鹏峰, 冯学智, 赵书河, 等. 基于相位一致的高分辨率遥感图像分割方法[J]. 测绘学报, 2007, 36(2): 304-311.)
- [2] LI Xiaofeng, ZHANG Shuqing, HAN Fuwei, et al. Road Extraction from High-resolution Remote Sensing Images Based on Multiple Information Fusion[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(2): 178-184. (李晓峰, 张树清, 韩富伟, 等. 基于多重信息融合的高分辨率遥感影像道路信息提取[J]. 测绘学报, 2008, 37(2): 178-184.)
- [3] TAN Qulin. Urban Building Extraction from VHR Multispectral Images Using Object Based Classification [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010, 39(6): 618-623. (谭衢霖. 高分辨率多光谱影像城区建筑物提取研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(6): 618-623.)
- [4] SHU Ning. Strengthen the Researching of the Theories and Methods of the Multispectral Images Comprehension [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 1999, 3(41): 28-30. (舒宁. 应加强多光谱图像理解[J]. 国土资源遥感, 1999, 3(41): 28-30.)
- [5] NEVATIA. A Color Edge Detector and Its Use in Scene Segmentation [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1977, 7(11): 820-826.
- [6] KUNG S Y, HU Y H. A Highly Concurrent Algorithm and Pipelined Architecture for Solving Toeplitz Systems [J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1983, 31(1): 66-76.
- [7] CUMANI A. Edge Detection in Multispectral Images[J]. Graphical Models and Image Processing, 1991, 53(1): 40-51.
- [8] ZHAO Xian, LI Deren. Constructing Two Dimension Symmetric Wavelets for Extracting Edge Features of Image at Multiscales [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2003, 32(4): 313-319. (赵西安, 李德仁. 二维对称小波与多尺度影像边缘特征提取[J]. 测绘学报, 2003, 32(4): 313-319.)
- [9] MARTIN D R, FOWLKES C, MALIK J. Learning to Detect Natural Image Boundaries Using Local Brightness, Color and Texture Cues [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(5): 530-549.
- [10] SCHEUNDERS P. A Multivalued Image Wavelet Representation Based on Multiscale Fundamental Forms[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 10(5): 1204-1211.
- [11] WANG Yuping, CAI Yuanlong. Multi-scale Spline Wavelet Edge Detection Operator [J]. Science in China (Series A), 1995, 25(4): 426-437. (王玉平, 蔡元龙. 多尺度样

- 条小波边缘检测算子[J]. 中国科学: A 辑, 1995, 25(4): 426-437.)
- [12] SAPIRO G, RINGACH D L. Anisotropic Diffusion of Multivalued Images with Applications to Color Filtering [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5 (11): 1582-1586.
- [13] MING Dongping, WANG Qun, YANG Jianyu. Spatial Scale of Remote Sensing Image and Selection of Optimal Spatial Resolution[J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(4): 529-537. (明冬萍, 王群, 杨建宇. 遥感影像空间尺度特性与最佳空间分辨率选择[J]. 遥感学报, 2008, 12(4): 529-537.)
- [14] PERONA P, MALIK J. Scale-space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7): 629-639.
- [15] HUANG Huiping, WU Bingfang. Analysis to the Relationship of Feature Size, Objects Scales, Image Resolution [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(3): 243-248. (黄慧萍, 吴炳方. 地物大小、对象尺度、影像分辨率的关系分析[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(3): 243-248.)
- (责任编辑: 宋启凡)
- 收稿日期: 2011-03-10
修回日期: 2011-08-23
第一作者简介: 李晖(1985—), 女, 博士生, 主要研究方向为多光谱遥感数字图像处理和积雪遥感监测。
First author: LI Hui (1985—), female, PhD candidate, majors in multispectral high resolution remotely sensed imagery processing and remote sensing of snow cover monitoring.
E-mail: lih666 @163.com

《中国学术期刊影响因子年报》2011 年版部分测绘类期刊指标摘录

中国知网(CNKI)2011 年 12 月 22 日发布了《中国学术期刊影响因子年报(2011 年版)》, 公布了 2010 年各类学术期刊的总被引频次、可被引文献量、基金论文比等一系列用于评价期刊学术创新影响力和整体学术水平的主要指标, 年报分为自然科学和工程技术版以及人文社会科学版。该年报还在统计中对严重疑似抄袭论文的参考文献和论文的引证文献进行核实, 并排查了一稿多发文献对其他文献的重复引用等。2011 年自然科学和工程技术版年报使用 3085 种来源期刊, 221696 本学位论文, 1582 本会议论文期刊。年报收录测绘类期刊 25 种。以下是部分测绘类期刊的统计指标数据。

	复合影响因子	复合总被引	可被引文献量	他引总引比	互引指数	Web 即年下载率
测绘学报	1.500	2440	105	0.92	22/14	83
地球信息科学学报	1.412	1394	123	0.81	14/14	70
遥感学报	1.388	3860	93	0.95	26/14	86
国土资源遥感	1.159	1623	105	0.88	18/14	49
大地测量与地球动力学	1.120	1615	204	0.57	4/14	30
武汉大学学报(信息科学版)	1.096	4773	345	0.79	8/14	63
遥感信息	1.041	1447	140	0.95	24/14	41
地理信息世界	0.830	599	92	0.86	11/14	32
测绘科学	0.788	2774	473	0.82	22/14	39
测绘通报	0.730	2713	287	0.91	29/14	48
测绘科学技术学报	0.571	1098	117	0.95	15/14	29
测绘信息与工程	0.570	926	143	0.89	12/14	36
测绘工程	0.561	908	130	0.91	13/14	31
全球定位系统	0.544	478	93	0.88	14/14	21
地理空间信息	0.482	829	311	0.85	22/14	36
海洋测绘	0.478	771	142	0.79	13/14	25
测绘技术装备	0.402	184	77	1.00	6/14	14
测绘与空间地理信息	0.391	1161	453	0.88	20/14	27

复合统计源由期刊统计源、博士硕士学位论文统计源、会议论文统计源构成, 基于该统计源的计量指标称为复合类指标。

互引指数是某刊的被引集中度与该刊所属学科的平均被引集中度之比, 用于分析某期刊被引期刊分布广度的合理性。