doi: 10.6046/gtzyyg.2015.03.11

引用格式:李向辉,陈一祥,王海斌,等. 基于 Gabor 滤波和局部特征点密度的居民区提取[J]. 国土资源遥感,2015,27(3):59-64. (Li X H, Chen Y X, Wang H B, et al. Urban area detection based on Gabor filtering and density of local feature points[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(3):59-64.)

基于 Gabor 滤波和局部特征点密度的居民区提取

李向辉,陈一祥,王海斌,张恩兵,秦 昆

(武汉大学遥感信息工程学院,武汉 430079)

摘要:通过对高空间分辨率遥感图像(简称高分图像)中的居民区纹理结构信息的分析,提出了一种基于 Gabor 滤 波和局部特征点密度的居民区提取方法。该方法首先对高分图像进行多方向 Gabor 滤波,得到多个方向的幅值信 息,并通过阈值处理和筛选后处理获取图像的特征点;然后对特征点求取局部密度,获取居民区的范围;再用数学 形态学变换进行细微处理,最终提取出图像中的居民区。以 WorldView2 真彩色图像为实验数据对不同方法进行验 证及对比分析的结果表明,该方法具有较高的提取精度和计算效率。

关键词:高空间分辨率遥感图像;多方向;Gabor滤波;局部特征点密度

中图法分类号: TP 751.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-070X(2015)03-0059-06

0 引言

随着社会经济的发展和城市化进程的加快,利 用高空间分辨率遥感图像(简称高分图像)快速而 准确地提取居民区信息具有重要意义[1-2]。利用高 分图像进行居民区的信息提取,目前已有很多研究。 Benedisktsson 等^[3]利用数学形态学变换(mathematical morphology transformation)获取居民区的结构信 息,并借助神经网络(neural network)分类方法进行 居民区提取; Zhong 等^[4] 通过组合多种分类器对 QuickBird 和 SPOT 图像进行处理,获取城市区域: 张春晓等^[5]利用基于面向对象和影像认知的遥感 图像分类方法,实现居民区提取。但上述方法都需 要选取训练数据,而人为因素对居民区提取结果的 影响较大。为了减少对训练样本信息的依赖,学者 们发现利用高分图像的结构特征进行居民区提取可 以取得较好的结果。潘励等[6]提出一种集成边缘 和区域分割信息的居民地提取方法,取得了较好的 效果: Hu 等^[7] 对高分图像的局部边缘分布进行分 析,提出用显著指数(saliency index)描述边缘的密 度分布、进行城区检测,具有较高的效率: Sirmacek

等^[8]将尺度不变特征变换(scale - invariant feature transform,SIFT)与图论(graph theory)相结合,提出 一种新的居民区提取算法,取得较好的效果,但计算 量较大; Sirmacek 等^[9]则利用 Gabor 滤波的实部信 息获取特征点,并结合空间投票方法实现居民区的 提取,但在空间投票过程中因使用了全部特征点,故 常常会忽略居民区的局部边界差异,且随着特征点 的增加,计算代价也会迅速增加。

本文基于 Gabor 滤波技术,综合高分图像的纹 理特征在多个方向上的幅值信息,结合局部特征点 分布密度方法,有效而快速地提取了居民区信息,同 时较好地保留了边缘特征。实验证明,该方法具有 较高的提取精度和计算效率。

1 Gabor 滤波与特征点提取

1.1 Gabor 滤波

在图像处理与分析领域,Gabor 滤波器已经得 到了成功的应用。Gabor 滤波器的一个优越性在于 它可被看作一个对方向及尺度敏感的有方向性的显 微镜,能够检测图像中一些具有相应方向频率信息 的、局部的显著特征。二维 Gabor 滤波函数定义为

$$g(x,y) = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \exp\left[-\pi \left(\frac{u^2}{\sigma_x^2} + \frac{v^2}{\sigma_y^2}\right)\right] \left[\exp(i2\pi f u) - \exp\left(-\frac{\pi^2}{2}\right)\right] , \qquad (1)$$

收稿日期: 2014-04-30;修订日期: 2014-05-26

基金项目:国家重点基础研究发展计划"973"项目"高分辨率遥感影像的目标特征描述与数学建模"(编号:2012CB719903)、高分辨率 遥感交通应用示范项目"高分综合交通遥感应用示范系统先期攻关"(编号:07-Y30A05-9001-12/13)和四川省测绘地 理信息局科技计划项目"基于规则驱动的城市三维快速建模技术研究"(编号:J2014ZC02)共同资助。

式中: $u = x\cos\theta + y\sin\theta$; $v = -x\sin\theta + y\cos\theta$; σ_x 和 σ_y 为由调制频率函数表示的空间尺度因子; f为频 率,用于决定空间尺度因子的选择; θ 为 Gabor 滤波 的方向。在实际运用中,常常选择 $\sigma_x = \sigma_y = 1/f_o$

假定待处理的遥感图像为 *I*(*x*,*y*),则对其进行 Gabor 滤波的过程可简单地表示为

$$F(x,y) = I(x,y) * g(x,y)$$
, (2)

式中: *为二维卷积运算符; g(x,y)为 Gabor 核函数; F(x,y)为滤波处理后的图像数据。

Gabor 核函数是复数形式,卷积过程会产生由 实部和虚部构成的复数响应。许多研究发现,Gabor 滤波器的实部对纹理比较敏感,因此目前研究大多 使用其调制的高斯函数作为最终滤波器来获取居民 区的特征点^[9-11]。但本文研究发现,综合滤波后的 实部和虚部数据获取的幅值图像可真实反映图像局 部的能量谱,并能较好地体现图像中的居民区特征。 因此,本文根据滤波后的数据获得幅值信息,即

$$A(x,y) = Amplitude[F(x,y)] = R^2 + I^2, \quad (3)$$

式中: R 和 I 分别为 F(x, y)的实部和虚部图像; A(x, y)为滤波后获得的幅值图像。

图 1 是对一景 WorldView2 单波段的灰度图像 进行 Gabor 滤波处理的结果。



(b) Gabor 滤波实部 (c) Gabor 滤波虚部
 图 1 测试图像与 Gabor 滤波结果



从图1可以看出,居民区和非居民区对滤波的 响应是不同的,其原因在于居民区的构造更复杂,拥 有更多的结构信息,局部纹理更为丰富;而非居民 区部分的纹理结构等信息相对较简单。Gabor滤波 后的实部和虚部影像能够在一定程度上反映居民区 的特征信息;但与综合实部和虚部影像构造的幅值 图像相比,幅值图像中的居民区信息量较多,能显著 减少居民区信息的缺失。

1.2 特征点提取

本文选用 OTSU^[12]提出的最大类间方差法 (maximum between - class variance method)能较好 地满足居民区特征点提取的需求。OTSU 的处理过 程是按图像的灰度特性将图像分成背景和前景 2 部 分,背景和前景之间的类间方差越大,说明构成图像 的 2 部分的差别越大;若部分前景错分为背景或部 分背景错分为前景,都会导致 2 部分差别变小。OT-SU 方法能够找到使类间方差最大的灰度阈值,从而 实现灰度图像的二值化。

使用 OTSU 方法获得的二值图像,除居民区外, 通常还会包含许多较小的噪声点,这些噪声点将会 导致对居民区的"伪检"。本文借鉴文献[9]的思 想,计算二值图像中每个像元点的权重 ω(x,y),并 将权重定义为:每个值为1的像元点所在的连通区 域(本文选用 8 连通区域)的面积作为其权重。如 果一个像元点的权重 ω(x,y)小于某个阈值,就认为 这个点可以去掉,而对整体图像的特征并没有太大 的影响。经过对一定范围内阈值(20,21,…,25)的 实验对比,最终选择的阈值为 20(实验结果对阈值的 选择不是很敏感)。但是,具体阈值的设定还是需要 根据实验图像数据来进行调整^[9]。图 2 是对图 1(a) 进行某一个方向上的 Gabor 滤波所得到的幅值图像 以及进行二值化和阈值处理后获得的特征点图像。



(a) 幅值图像(b) 特征点图像图 2 幅值图像与局部特征点图像



1.3 特征点综合

本文 Gabor 滤波的方向选择在[0, π]之间,8 个 方向分别为0, $\pi/8$, $2\pi/8$,…, $7\pi/8$ 。测试图像在8 个方向上的 Gabor 滤波结果分别表示为 B_0 , $B_{\pi/8}$, $B_{2\pi/8}$,…, $B_{7\pi/8}$ (图3)。



(g) B_{6π/8}

(h) $B_{7\pi/8}$ 图 3 8 个方向上的特征点与综合特征点 Fig. 3 Local feature points in 8 directions and total feature points

从图 3 可以看出, Gabor 滤波处理后的幅值图

像的特征点并不都适合用来提取居民区。图3(a) (h)的左右侧和图 3(c)(d)(e)的上下边都有锯齿 状的杂质信息。同时,在单个方向上缺少居民区的 特征点信息,而在多方向上却存在居民区特征重复 的现象。对此需要做进一步处理。假定最后的综合 特征点图像为 B_{all} (图3(i)),即

$$B_{\text{all}}(x,y) = \begin{cases} 1, & \sum_{i=0}^{\prime} B_{i\pi/8}(x,y) \ge T \\ \\ 0, & \sum_{i=0}^{7} B_{i\pi/8}(x,y) < T \end{cases}$$
, (4)

若某个特征点在8个方向上的出现次数不小于阈值 T,则认为这个特征点符合要求: 否则为不合格的特 征点,应予以删除。为了保证有效特征点在8个方 向出现的概率不低于 50%,本文将阈值 T 设为 $8 \times 50\% = 4_{\odot}$

居民区提取 2

2.1 局部密度求取

在获取到8个方向上的全部特征点B_{all}后,对所

有特征点的局部密度进行统计,即

$$density(x,y) = Num_{point}/Num_{all}$$
, (5)

式中: density(x, y)为所有特征点的局部密度; Num_{nint}为以当前点为圆心,R为半径的局部窗口中 所有值为1的点的总数; Numan为局部窗口所包含 的全部点的数目。半径 R 的确定方法参见文献[7]。 图 4(a) 为以 0 为圆心、R 为半径的局部窗口示意 图,图4(b)为综合特征点的局部密度统计结果。



采用上述方法得到的综合特征点的局部密度在 [0,1]区间;按式(6)对其进行归一化处理,然后投 影到[0,255]区间,具体计算公式为

 $grayde(x,y) = \frac{density(x,y) - \overline{X}}{\sigma} \times 100\%$, (6)

式中: \bar{X} 为密度的均值; σ 为标准差。

经过实验发现,式(6)能较好地反映综合特征 点的局部密度分布。

2.2 居民区范围提取

在得到图像的综合特征点局部密度图后,进行 阈值处理,以提取居民区范围。本文依然采用最大 类间方差法(OTSU)^[12]来进行二值化处理,获取与 居民区对应的二值图像。此时得到的居民区影像中 常常会有一些小的孔洞(无值区),为此,本文采用 数学形态学运算中的填充孔洞方法进行后续处理。 最后再利用一个面积阈值去掉小斑块(这些小斑块 对居民区的范围几乎没有什么影响)。图5示出用 本文方法提取居民区的结果。





3 实验结果评价与分析

以2景空间分辨率均为1.8 m 的 WorldView2 真彩色图像为实验数据对本文方法进行评价。以人 工勾画方式提取的居民区作为标准进行精度评定, 并与文献[9]基于局部特征点和空间投票方法的居 民区提取结果进行对比分析。

图 6 为 2 个不同地区的 WorldView2 真彩色图 像以及采用不同方法提取的居民区实验结果。



图 6 居民区提取实验结果

Fig. 6 Experiment results of urban area detection

图 6(a) 为地区 1 的原图像,图像大小为 278 像 元×263 像元,地物类别及分布相对简单,只包含有 一块区域较大的居民区和植被、裸地及耕地等信息。 图 6(e) 为地区 2 的原始图像,图像大小为 928 像元× 964 像元,其地物类别较为复杂,包含了水体、植被、 耕地、道路以及多块居民区信息。对比 2 个不同地 区的原图像和采用不同方法的居民区提取实验结果 可以看出,本文算法和文献[9]算法都能较好地提 取出居民区范围,但本文算法提取的结果更能体现 居民区的真实边界(与人工勾画的居民区十分接 近),而文献[9]的方法只能大致勾画出居民区的轮 廓(与人工勾画的居民区出入较大)。同时,本文算 法也能剔除掉居民区内部较大面积的植被等信息, 而文献[9]的方法则会将较大面积的植被信息误分 为居民区。

为了更好地评价不同算法的准确率与效率,采 用定量计算的方法进行评价。将人工标注的居民区 域作为基准数据,并将提取结果与其进行比较,选用 的评价指标有查准率(precision,P),查全率(recall, R),F检验值 F_{α} (置信度 $\alpha = 1$)和总体运行时间 T_{α} 查准率为算法提取到的正确居民区面积与算法提取 全部居民区面积之比;查全率为算法提取到的正确 居民区面积与真实居民区面积之比;F检验值为

 $F_{\alpha} = \left[(1 + \alpha^2) P R \right] / (\alpha^2 P + R) \quad _{\circ} \quad (7)$

不同方法提取居民区信息的准确性与计算效率 对比结果如表1所示。

表1 居民区信息提取结果对比

Tab.1 Comparison of urban area detection results

区域	方法	P/%	R/%	F_{α}	T/s
地区1	本文方法	83.0	94.0	0.882	2.78
	文献[9]方法	67.5	96.8	0.795	15.80
地区2	本文方法	86.8	87.3	0.870	9.70
	文献[9]方法	85.3	90.2	0.877	6 500.00

从表1可以看出,本文算法具有一定的准确性。同时在运行时间上,也优于文献[9]的算法,体现出 其高效性。其原因在于,本文算法在处理特征点的 过程中,仅考虑特征点周围一定范围内的点对其起 的作用;而文献[9]的算法则是计算全局范围内的 所有特征点对每一个特征点的作用,当特征点数量 较大时,就会耗费大量时间。也正是因为考虑到特 征点的局部作用范围,本文算法也能较好地保留居 民区的原始边界,并能剔除居民区中较大面积的植 被等信息。

4 结论

本文通过对高分图像中居民区纹理结构信息的 分析,提出了一种基于 Gabor 滤波和局部特征点密 度的居民区提取方法。具体结论如下:

 1)该方法利用滤波后的实部和虚部数据来获 得幅值图像,并综合多方向的滤波信息来获得居民
 区的综合特征点。实验表明,这些特征点及其空间
 分布能够用于有效地区分居民区和非居民区。

2)在处理特征点时,通过求取局部密度来利用 居民区局部特征信息。实验表明,这不仅能较好地 保留居民区的边缘特征,还能提高计算效率。

3)本文方法尚存不足,如 Gabor 滤波过程中的 尺度设定的问题,以及后续合理阈值的自动选择问 题,需要今后进一步研究解决。

参考文献(References):

 [1] 王 琰,舒 宁,龚 龑,等. 基于类别光谱变化规律的土地利用 变化检测[J]. 国土资源遥感, 2012, 24(3):92 - 96. doi:10.
 6046/gtzyg. 2012.03.17.

Wang Y, Shu N, Gong Y, et al. Land use change detection based on class spectral change rule [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2012, 24(3):92 – 96. doi:10.6046/gtzyyg.2012.03.17.

 [2] 陈 征,胡德勇,曾文华,等.基于 TM 图像和夜间灯光数据的区域城镇扩张监测——以浙江省为例[J].国土资源遥感,2014, 26(1):83-89.doi:10.6046/gtzyyg.2014.01.15. Chen Z, Hu D Y, Zeng W H, et al. TM image and night – time light data to monitoring regional urban expansion; A case study of Zhejiang Province[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(1):83 – 89. doi:10.6046/gtzyyg.2014.01.15.

- [3] Benediktsson J A, Pesaresi M, Amason K. Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(9):1940 – 1949.
- Zhong P, Wang R S. A multiple conditional random fields ensemble model for urban area detection in remote sensing optical images
 [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45(12):3978 - 3988.
- [5] 张春晓,候 伟,刘 翔,等. 基于面向对象和影像认知的遥感影像分类方法——以都江堰向峨乡区域为例[J]. 测绘通报, 2010(4):11-14.

Zhang C X, Hou W, Liu X, et al. Remote sensing image classification based on object – oriented and image cognition: A case study in Xiang'e, Dujiangyan [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2010(4):11-14.

[6] 潘 励,张志华,张剑清.融合区域分割和边缘信息的居民地提取方法[J].武汉大学学报:信息科学版,2006,31(8):671-674.

Pan L, Zhang Z H, Zhang J Q. Residential areas recognition by fusing region data and edge features [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(8):671-674.

- [7] Hu X Y, Shen J J, Shan J, et al. Local edge distributions for detection of salient structure textures and objects[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2013, 10(3):466-470.
- [8] Sirmacek B, Unsalan C. Urban area and building detection using SIFT keypoints and graph theory [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(4):1156 – 1167.
- [9] Sirmacek B, Unsalan C. Urban area detection using local feature points and spatial voting[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2010,7(1):146-150.
- [10] 陈 洪,陶 超,邹峥嵘,等. 一种新的高分辨率遥感影像城区提取方法[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2013,38(9):1063 1067.

Chen H, Tao C, Zou Z R, et al. Automatic urban area extraction using a Gabor filter and high – resolution remote sensing imagery [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013,38(9):1063-1067.

 [11] 施蓓琦,刘春,陈能,等.利用高光谱遥感影像纹理滤波的城市居民地识别[J].武汉大学学报:信息科学版,2012,37(8): 915-920.

Shi B Q, Liu C, Chen N, et al. Residential area recognition using texture filtering from hyper – spectral remote sensing imagery [J].
Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37 (8):915 – 920.

[12] Otsu N. A threshold selection method from gray - level histograms
 [J]. IEEE Transaction on System Man and Cybernetic, 1979, 9

 (1):62-66.

Urban area detection based on Gabor filtering and density of local feature points

LI Xianghui, CHEN Yixiang, WANG Haibin, ZHANG Enbing, QIN Kun

(School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: To tackle the problem of urban area detection using high – resolution remote sensing images, this paper proposes a method based on Gabor filtering and density of local feature points by analyzing the residential area texture of high resolution image. For obtaining the amplitude information in multiple directions, the Gabor filtering was used firstly, and then the image feature points were extracted by subsequent processing of amplitude images. By computing the density of local feature points, the initial residential areas could be obtained. With further mathematical morphology transformation of the areas, the results were optimized ultimately. In the experiments, two WorldView2 data were used to validate the different methods. A comparative analysis with other methods shows that the method proposed in this paper has higher extraction accuracy and computational efficiency for urban area detection.

Keywords: high resolution remote sensing image; multi – oriented; Gabor filtering; density of local feature points **第一作者简介**: 李向辉(1989 –),男,硕士研究生,主要研究方向为高分辨率遥感图像信息提取。Email: dariusleelxh@gmail. com。

(责任编辑: 刁淑娟)