

高分辨率遥感影像上居民地半自动提取研究

苏俊英¹ 曹 辉¹ 张剑清¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 设计了一种基于 3×3 区域灰度方差纹理特征的高分辨率遥感影像居民地特征分析算法, 通过高斯模糊处理提高影像上居民地区域纹理特征一致性的同时, 加大了其共同背景地物纹理特征值的差异, 并设计了相应的居民地自适应分割阈值求取算法, 提出了针对居民地与道路提取分离的骨架化分析算法。

关键词: 高分辨率遥感影像; 居民地; 纹理分析; 高斯模糊; 骨架化

中图法分类号: TP751

针对高分辨率遥感影像上地物自动提取的研究多集中在道路、河流、电力线、排水管道等线性地物上, 在所有的具有几何形状的地物中, 线性地物是形状较简单的一种, 通过线检测或跟踪技术比较容易实现。对高分辨率遥感影像上居民地这类复杂面状地物的提取的研究尚处于初步阶段, 针对不同比例尺(影像分辨率)、不同区域(乡村、城市)影像上居民地的提取精度都受到影像质量的影响, 满足不了实际应用的需求。文献[1~3]从遥感图像中提取居民地的方法多为目视判读提取, 难以满足诸如灾害评估等方面的实时要求。利用计算机提取地物特征, 包括识别和量测两部分, 其中识别对于人来说比较简单, 而对于计算机却十分困难; 量测即精确定位, 计算机较易于实现^[1]。利用计算机和人各自的优点进行半自动特征提取和识别, 是目前研究的主要方向。

1 高分辨率遥感影像居民地提取

1.1 居民地影像纹理特征分析

通过对影像进行纹理分析, 将影像变换到纹理特征空间, 进行影像分割、识别是影像理解的一种主要技术途径, 其关键是纹理特征的选取。纹理的选择必须结合具体的应用, 特别是影像分割, 选取的纹理特征要使得通过纹理特征变换后, 特征空间中待分割地物的影像与背景影像的某个统计特征值如方差、均值要有显著变化, 以利于分割阈值的确定。经典的纹理分析有基于方差特征、

灰度共生矩阵及傅立叶功率谱纹理特征分析^[4]。

对于中心像素 (i, j) 的灰度值为 $g(i, j)$ 的一影像窗口 $w\times w$, 其方差特征影像 $v_g(i, j)$ 的计算式为:

$$v_g(i, j) = \frac{1}{w^2} \sum_{k=-w/2}^{w/2} \sum_{l=-w/2}^{w/2} [g(i+k, j+l) - m_g(i, j)]^2 \quad (1)$$

式中, m_g 为相应窗口内的均值, 本文计算中选取窗口大小为 3×3 :

$$m_g(i, j) = \frac{1}{w^2} \sum_{k=-w/2}^{w/2} \sum_{l=-w/2}^{w/2} g(i+k, j+l) \quad (2)$$

灰度共生矩阵选取纹理二阶矩即能量作为特征值, 即

$$W_M = \sum \sum P^2(i, j) \quad (3)$$

式中, W_M 对应图像的均匀性或平滑性; $P^2(i, j)$ 为灰度共生矩阵, 本文灰度共生矩阵的计算窗口为 7×7 , 方向取 45° 、 135° 、 225° 和 315° 四个方向的平均值。

傅立叶功率谱纹理采用环形能量特征计算, 图像 $f(i, j)$ 的傅立叶变换 $F(u, v)$ 的功率谱定义为:

$$P(u, v) = |F(u, v)|^2 \quad (4)$$

其值表示空间频率 (u, v) 的强度。把它用极坐标的形式表示出来并设为 $P(r, \theta)$ 后, 可求出:

$$p(r) = 2 \sum_{\theta=0}^{\pi} P(r, \theta) \quad (5)$$

式中, $p(r)$ 为在功率谱空间以原点为中心的环形区域内的能量之和作为傅立叶功率谱纹理特征。

图 1 为其中的试验影像在不同纹理空间中的特征影像。图 1(b)所示的方差纹理特征影像具有较大反差,居民区与其他区域对比明显;傅立叶纹理特征影像(图 1(c))变换前后同原始影像较为接近(图 1(a)),灰度变化较小,整幅影像看起来偏灰;灰度共生矩阵纹理特征影像(图 1(d))反差偏小,这

是因为灰度共生矩阵统计的纹理具有很强的规律性和空间分布要求,而原始影像上居民地影像灰度大多数为混合像元,特征的空间分布规律受到影响。从目视分析的结果看,使用最简单的方差特征进行纹理分析相对而言效果较好,傅立叶特征其次,灰度共生矩阵纹理特征分析的效果最差。

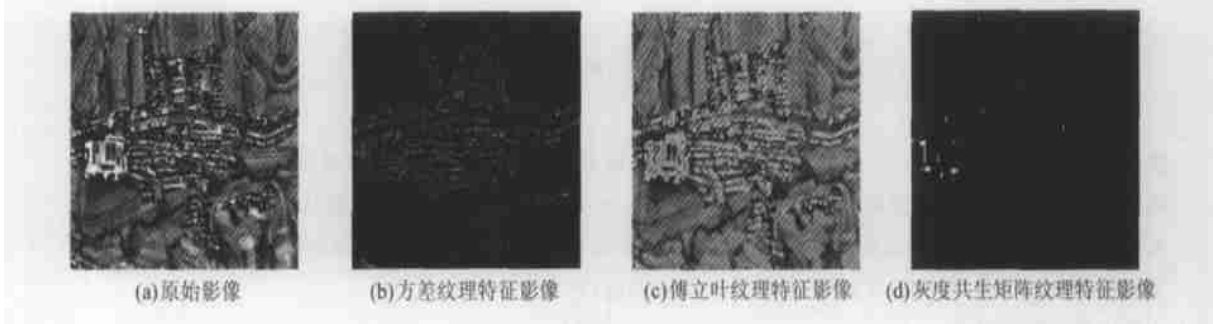


图 1 不同纹理特征影像比较

Fig. 1 Comparison Between Different Texture Images

特征空间影像与原始影像上人工选择的居民区(目标)和整幅影像(可视为背景)的统计特征数据,如均值、方差、熵等,其差值反映了居民区和背景区域影像的差异,差值越大,影像分割阈值越易

选择,分割效果会更好。分别统计不同特征空间中人工选择的居民区和整幅影像统计特征数据等,其结果如表 1 所示。

表 1 不同特征空间中居民区和整幅影像的统计值比较

Tab. 1 Comparison Between Statistic Values of Residential Area and Total Image in Different Feature Domains

特征值		最大值	最小值	方差	均值	熵	方差差值	均值差值	熵差值
原始影像	全区域	255	0	45.88	127.1	7.43			
	居民区	255	0	49.90	124.9	7.45	4.02	-2.2	-0.02
方差影像	全区域	255	0	29.11	57.0	6.32			
	居民区	255	0	41.18	73.7	7.07	12.07	16.7	0.75
傅立叶纹理特征影像	全区域	255	0	36.80	149.7	7.12			
	居民区	251	3	42.06	145.5	7.32	5.26	-4.2	0.20
灰度共生矩阵纹理特征影像	全区域	255	0	20.34	33.3	5.14			
	居民区	255	0	18.60	27.3	4.95	-1.74	-6.0	-0.19

由表 1 中数据可见,原始影像在没有进行特征变换前,方差、均值、熵的差值都很小(方差差值为 4.02,均值相差 2.2,熵差值仅为 0.026),说明单纯依靠区域的直方图特征很难将居民区从试验区影像中提取出来,而将其变换到方差特征空间后,方差、均值、熵的差值都有较大程度的提高,这样,利用直方图统计特征可以较容易地确定阈值,将居民区从试验区影像中提取出来相对容易实现;其他特征空间中的方差、均值、熵的差值也都有所变化,但统计差值变化不明显。总的说来,基于方差特征影像最接近本文进行纹理分析的目的,傅立叶特征影像其次,灰度共生矩阵最差,这一点与本文特征影像的目视效果分析、评价相符。

1.2 基于高斯模糊的自适应分割阈值

居民区构成的复杂性使得居民区内部的纹理

特征差别很大,单纯地应用纹理特征影像难以给定合适的阈值来对整个的居民区进行分割。考虑到所关心的是对居民区边界的提取,而不太注重其内部的细节构成,但内部的细节却对区域增长的结果有很大的影响,因此,有必要采用某种方法对居民区进行内部细节的忽略或“模糊”。高斯模糊具有去除高频噪声的平滑功能,在提取较大的目标特征前,可利用高斯模糊滤除噪声与太小或不必要的细节等,或将目标内的小间断连接起来^[6]。

设 $f(x, y)$ 表示灰度图像, $g(x, y)$ 表示高斯平滑模糊图像,则有:

$$g(x, y) = \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \cdot f(x, y) \quad (6)$$

式中, M 、 N 为模糊窗口的长和宽; σ 为高斯平滑参数, σ 的大小决定了模糊程度的强弱。

利用高斯模糊这一特性, 对特征影像进行高斯模糊, 可使得特征空间影像上对应居民区的纹理较一致, 从而有利于自适应确定阈值。图 2 分别为原始影像、方差特征影像经高斯模糊后的结果对比。

通过高斯模糊, 高分辨率遥感影像上对应居民区的纹理特征影像得到平滑, 局部灰度变得均匀单一, 为适应性阈值的自动获取提供了条件。为了验证上述的目视效果, 分别对原始影像、原始影像的高斯模糊影像及方差影像的高斯模糊影像进行直方图分析, 并分别统计了三种影像上人工



图 2 不同高斯模糊影像比较
Fig. 2 Comparison of Gauss Blur Image

选择的居民区(目标)和全区域(背景)的均值、方差、熵、最大值、最小值等, 其结果见表 2。

表 2 三种影像上人工选择的居民区与全区域的灰度统计值比较
Fig. 2 Comparison Between Statistic Values of Residential Area and Total Image after Gauss Blur

特征值		最大值	最小值	方差	均值	熵	方差差值	均值差值	熵差值
原始影像	全区域	255	0	41.27	128.7	7.30	8.46	-1.8	-0.48
	居民区	255	0	49.73	126.9	6.82			
原始高斯模糊影像	全区域	180	58	19.03	128.9	6.53	-4.63	-8.1	-0.70
	居民区	162	64	14.40	120.8	5.83			
方差高斯模糊影像	全区域	100	38	12.04	57.4	6.27	-7.30	26.5	-2.05
	居民区	95	74	4.74	83.9	4.22			

由表 2 可见, 原始影像上全区域与居民区的方差、均值、熵的差值都很小, 说明单纯依靠区域直方图特征很难将居民区从试验区影像中提取出来。将其进行高斯模糊后, 虽然方差绝对差值减少, 但此时灰度值的范围也变小, 相对灰度值范围而言, 方差差值的变化还是比原始影像的方差差值变化大。同时, 高斯模糊后均值差值为 8.1, 此时, 选择均值进行分割会得到比直接应用原始影像要好的结果。进一步对方差影像进行高斯模糊后, 尽管灰度值的范围变得更小, 但方差、均值、熵的差值都有较大程度的提高, 其中方差差值为 7.30, 均值相差 26.5, 熵差值为 2.05, 综合利用这三个特征值进行阈值选择会得到更好的结果。需要指出的是, 将方差影像进行高斯模糊后, 居民地影像中像元的灰度值变得更集中, 从灰度值的范围[74, 95] 和方差绝对数值(仅为 4.74)可见, 经过高斯模糊后, 居民区内部部分像元的灰度更一致, 相应的分割阈值容易确定, 分割效果会更好。

上述差值反映了影像上居民区和背景的差异, 差值越大, 影像分割的阈值越好选择, 同时, 高斯模糊影像上居民区的方差越小, 越能说明居民区内部具有较一致的灰度。在经过高斯模糊后的方差影像上选取方差、均值、熵进行阈值迭代, 以类间距离最大作为收敛条件, 可确定分割阈值。

1.3 高分辨率遥感影像居民地提取的算法

通过计算的自适应阈值可以进行居民地的有效分割, 得到初步分割的居民地影像, 但往往由于

有道路与居民地相连, 使得分割后的居民地还包含着部分道路。可利用居民地和道路的骨架线在形态上的差别去除道路特征。道路骨架线细长, 其骨架点的距离值通常小于某给定限值, 因此, 对垂直于该骨架线方向的像素, 若其到骨架点的距离小于骨架点本身的距离值, 则该像素被认为是非居民区像素。具体步骤是: 首先求出分割结果的骨架线, 然后通过给定一宽度限值(与道路宽度有关), 去掉垂直于骨架线方向上距离小于该限值的像元, 再经过细化处理即得到居民地轮廓线。整个高分辨率遥感影像上居民地半自动提取算法流程如图 3 所示。

2 试验及结果分析

2.1 居民地提取精度评定

分割评价准则可分成定性准则和定量准则两类。定性评价方法可结合应用和目视效果进行, 定量评价方法有形状测度、像素距离误差和像素数量误差。其中, 像素数量误差具有简单易操作性, 为大多数研究所采用。以图 4 为例, 图中黑色像素围成的居民区边界是半自动提取的结果, 其包围的面积为半自动量测面积, 设为 M_1 ; 而白色像素围成的居民区边界是人工目视判读提取的结果, 其包围的面积为实际量测面积, 设为 M_2 。两者叠加之后, 可以明显确定错分以及漏分的像元位置及范围。设正确分类面积为 T , 错分面积为

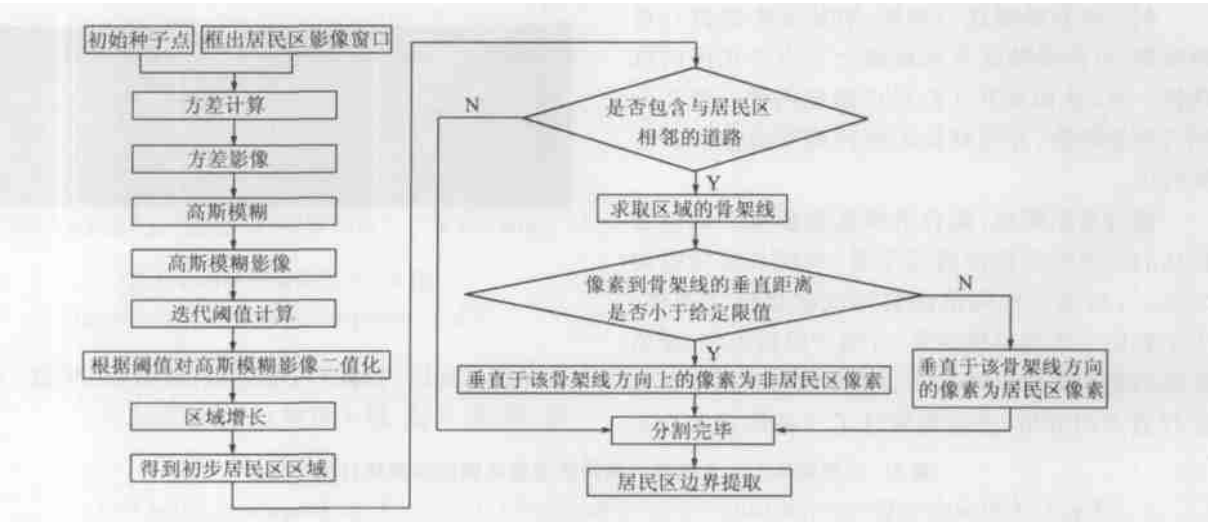


图3 居民地半自动提取流程

Fig. 3 Semi-automatic Extraction Flow of Residential Area

F , 漏分面积为 L , 面积按像素数计算。通过对这些错分、漏分像元数目的统计计算, 如计算面积错分率、正确分割的百分数等, 就可以达到定量地分析分割精度的目的。具体计算方法为:

$$F = M_1 - M_2 \tag{7}$$

$$T = M_1 - F \tag{8}$$

$$L = M_2 - T \tag{9}$$

则:
$$\text{正确率} = \frac{T}{M_1}, \text{错分率} = \frac{F}{M_1}, \text{漏分率} = \frac{L}{M_2} \tag{10}$$

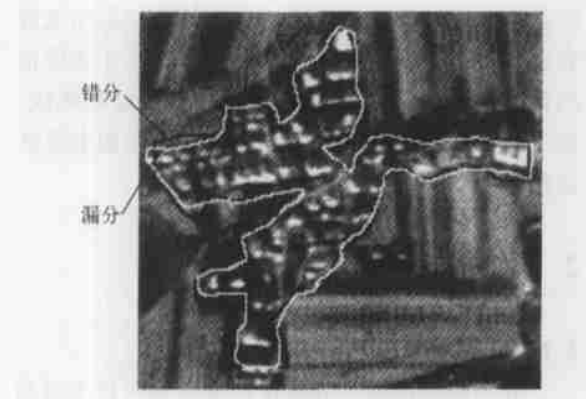


图4 精度分析方法

Fig. 4 Precision Assessment of Residential Extraction

2.2 居民地提取试验及结果分析

选用一些典型居民地分布(如农村居民地、城区居民地、稀疏分布居民地、集中分布居民地)的高分辨率遥感影像进行居民地半自动提取试验。由于居民地的纹理特性与影像比例尺密切相关, 因此, 试验中采用了我国 3m 空间分辨率遥感影像上的某地区影像数据、比例尺为 1:1.5 万的小比例尺航空影像以及空间分辨率为 15m 的 SPOT 影像共 5 组试验影像。提取结果如图 5, 其中黑色边界线包围的区域为提取的居民地。

采用像素数量误差作为定量评价指标, 分别对图 5 的居民地提取结果进行精度评价, 具体方法如下。

- 1) 对每幅图计算由半自动提取方法得到的边界所包围的面积 M_1 与实际面积 M_2 。
- 2) 对每幅图的面积 M_1 与 M_2 叠加以后, 分别量测其中正确提取的像素数、错误提取的像素数以及漏提取像素数, 并按式(10)统计正确提取的百分率、错误提取的百分率以及漏提取的百分率, 见表 3。表 3 中精度分析数据说明, 半自动提取的正确率都在 90% 以上, 而平均正确率达到 94.2%, 可以满足实际应用的要求。

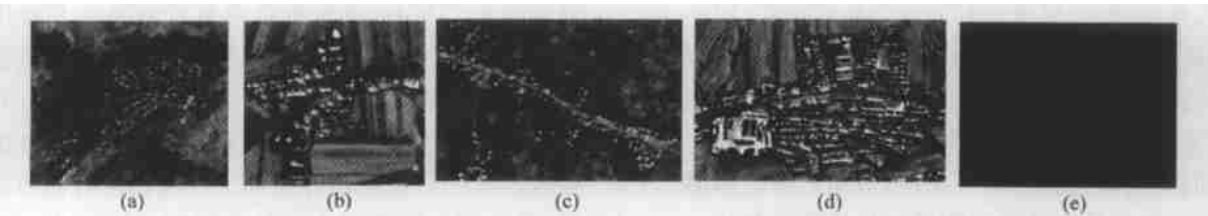


图5 居民地半自动提取结果

Fig. 5 Results of Residential Area Semi-automatic Extraction

表 3 半自动量测面积与实际面积的比较/像素

Tab. 3 Comparison Between the Area of Semi-automatic Extraction and the Actual Area/ Pixel

影像编号	M_1	M_2	正确面积	错分面积	漏分面积	正确率/ %	错分率/ %	漏分率/ %
图 5(a)	22 660	21 246	20 670	1 990	576	91. 2	8. 8	2. 7
图 5(b)	19 235	19 254	17 944	1 291	1 310	93. 2	6. 8	6. 8
图 5(c)	8 535	7 885	7 722	813	163	90. 5	9. 5	2. 1
图 5(d)	55 183	59 670	54 171	1 012	5 499	98. 2	1. 8	9. 2

参 考 文 献

1 周成虎. 遥感影像地学理解与分析. 北京: 科学出版社, 2001. 8~14, 91~95

2 杨存建. 基于知识发现的 TM 影像居民地自动提取研究. 遥感技术与应用, 2001, 16(1): 2~5

3 Paola J D, Schowengerdt R A. The Effect of Neural-Network Structure on a Multi-spectral Land-use/ Land-Cover Classification. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing,

1997, 63(5): 535~544

4 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1996. 126~131

5 阮秋琦. 数字图像处理基础. 北京: 中国铁道出版社, 1988

第一作者简介: 苏俊英, 博士生. 研究方向为高分辨率遥感影像处理.

E-mail: jysu-sjy@sina.com

Semi-automatic Extraction Technique of Residential Area
in High Resolution Remote Sensing Image

SU Junying¹ CAO Hui¹ ZHANG Jianqing¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: A residential area texture description based on the 3×3 region grey deviations is designed, and the Gauss blur is applied to make the residential area in the texture feature image possessing accordant grey value and limited contrast relative to the background area so as to obtain self-adaptive threshold for image segmentation. And a skeleton processing is proposed to eliminate the road from the residential area. The experiment results show that this technique is very simple and effective to the semi-automatic extraction of the residential areas and can meet the precision requirement of the mapping and surveying with satellite images.

Key word: high resolution; residential area; texture analysis; gauss blur; skeleton

About the first author: SU Junying, Ph. D candidate majors in high resolution remote sensing image processing.

E-mail: jysu-sjy@sina.com

(责任编辑: 平子)

本 刊 声 明

近来, 本刊发现在作者投向本刊的稿件中有一稿多投的现象, 严重违反《著作权法》中有关出版单位享有专有出版权之规定。在此, 特郑重声明: 所有来稿均不得一稿多投, 违者将追究责任。

特此声明。

《武汉大学学报·信息科学版》编辑部