

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2016. 03. 16
引用格式: 胡勇,张孝成,马泽忠,等. 无人机遥感影像中农村房屋信息快速提取[J]. 国土资源遥感,2016,28(3):96-101.
(Hu Y,Zhang X C,Ma Z Z,et al. Rural residential area extraction from UAV remote sensing imagery [J]. Remote Sensing for Land and Resources ,2016,28(3):96-101.)

无人机遥感影像中农村房屋信息快速提取

胡 勇^{1,2}, 张孝成^{1,2}, 马泽忠^{1,2}, 周志跃^{1,2}

(1. 重庆市国土资源和房屋勘测规划院,重庆 400020; 2. 重庆市土地利用
与遥感监测工程技术研究中心,重庆 400020)

摘要: 针对无人机遥感技术应用中信息提取自动化、智能化不足的问题,提出了一种基于面向对象分割的农村房屋信息提取方法。该方法首先利用双边滤波器滤掉影像中的噪声,然后利用移动均值算法分割影像,最后根据分割后房屋对象的特征建立提取规则,对房屋信息进行提取。实验结果表明,该方法可有效提取无人机遥感影像中的农村房屋信息,平均提取精度约为 92%。
关键词: 无人机; 面向对象分割; 移动均值; 信息提取
中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2016)03-0096-06

0 引言

改善农民的生活和居住条件是社会主义新农村建设的重要内容。随着统筹城乡和节约集约用地的全面开展,农村居民点用地整理逐渐成为农村土地整治的热点和亮点^[1]。房屋用地是农村居民点用地的主要类型之一,对农村房屋信息进行准确地调查,是农村建设用地整理、土地确权的需求,也是开展农村土地利用规划、优化农村资源配置的数据基础^[2-3]。

遥感技术具有客观、及时的特点,可以在短期内连续获取大范围的地面信息,用于建筑用地信息的提取具有得天独厚的优势。如 Xian 等^[4]利用遥感技术监测了佛罗里达西部的城市化发展进程; Jin 等^[5]结合建筑物的形状、阴影和光谱特征提取了城市建筑物信息,提取结果的准确率为 72.7%; 崔世勇^[6]采用位姿聚类 and 尺度不变特征转换来检测复杂建筑物的位置,并提出了基于图搜索的建筑物轮廓提取方法; 徐涵秋等^[7]利用 Landsat TM 影像和遥感建筑用地指数,实现了中分辨遥感影像城市建筑用地的自动提取。但受限于遥感影像空间分辨率和需求驱动,之前研究主要针对城市建筑用地信息提取,针对农村房屋信息的提取较少; 虽有部分针对农村建设用地整治的应用研究,但主要集中在整治

项目区监管和土地整理可行性评价方面^[8],对农村房屋信息的提取研究还很少。

近年来,无人机遥感技术发展迅速,因其机动灵活、低成本及云下高分辨率成像等优点,弥补了卫星遥感在时效性和天气影响等方面的不足,已成为获取高分辨率遥感数据的一种重要手段^[9-10]。目前,无人机遥感技术已开始应用于土地整治和乡村规划中^[11-14]。但在大多数应用中,无人机遥感影像仅仅作为高分辨率影像图用于目视解译或测量计算,影像信息提取的自动化程度较低。本研究利用无人机高分辨率遥感影像,基于图像分割算法设计了一种农村房屋信息自动提取方法,以期为农村居民点整治、土地利用规划等工作提供基础数据。

1 研究区与数据源

以重庆市长寿区双龙镇的无人机遥感影像为研究数据,采用固定翼无人机搭载佳能 5D mark II 相机进行影像获取,影像空间分辨率为 0.25 m,获取时间为 2010 年 6 月。影像进行了空三加密、正射校正等预处理。

本文所用无人机遥感影像具有高空间分辨率特点。空间分辨率的提高不仅丰富了地物信息,而且使地物几何结构和纹理信息显示得更加清晰。研究区内农村房屋几乎都为青瓦房顶,且房顶以屋脊为

界,向两侧倾斜。房屋屋顶在无人机遥感影像中纹理清晰,颜色与林地、耕地等有显著区别,与硬化道路比较相似,但形状明显不同。

2 研究方法

在高空间分辨率的无人机遥感影像中,地物内部纹理和形状等细节信息更加丰富,但光谱分辨率却相对较低,因此传统基于像元光谱特征的信息提取方法将变得非常困难和复杂。为此,本文利用面向对象的分析方法对无人机遥感影像中的农村房屋信息进行提取。

2.1 影像滤波

为了降低噪声对无人机影像分割结果的影响,采用具有较好边缘保持作用的双边滤波方法进行图像降噪。该方法是一种非线性的滤波方法,它同时考虑了像元之间的空间距离和灰度相似性,达到保

边去噪的目的,具有简单、非迭代和局部的特点^[15]。

2.2 基于均值移动算法的影像分割

为了避免相关软件或模块在对高分辨率影像进行处理时需要人工介入并逐步设置复杂参数,难以实现自动处理的问题,本文利用均值移动(mean shift,MS)算法,快速自动地实现影像面向对象的分割。

MS算法是基于概率密度估计的非参数化空间特征提取与分析方法,无需预先知道聚类的数目,能够描述任意形状的特征空间。特征空间可由后验概率密度函数表示,密度大的区域对应着未知概率密度的众数,对应同一众数的数据点就组成一个聚类。概率密度估计常用方法为核密度估计,对于 d 维空间 R^d 中的 n 个数据点组成的集合 $\{x_i\}_{i=1}^n$,其高斯核函数定义为

$$K_N(x) = (2\pi)^{-d/2} \exp(-\|x\|^2), \quad (1)$$

则MS迭代向量为

$$m(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{1}{2} \left\| \frac{X_s - x_{si}}{h_s} \right\|^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2} \left\| \frac{X_r - x_{ri}}{h_r} \right\|^2\right] x_i}{\sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{1}{2} \left\| \frac{X_s - x_{si}}{h_s} \right\|^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2} \left\| \frac{X_r - x_{ri}}{h_r} \right\|^2\right]}, \quad (2)$$

式中: $\{x_i\}_{i=1}^n = [\{x_{si}\}_{i=1}^n, \{x_{ri}\}_{i=1}^n]^T = [X_s, X_r]^T$; X_s 为二维像元坐标向量; X_r 为颜色向量; r 为波段; i 为第 i 个数据点; h_s 为空间带宽; h_r 为值域带宽。

MS算法能挖掘遥感影像中的上下文同质性,减少局部光谱变化,同时能很好地保持边缘和细节信息。这些特性使其成为一种潜在的面向对象提取与分析算法^[16]。本研究基于MS算法,进行无人机遥感影像面向对象分割与分析的步骤如下:

1) 利用影像原始像元坐标和像元值初始化 $\{x_i\}_{i=1}^n$,并给定 h_s 和 h_r 值,本文分别设置为10和15。

2) 对每一像元利用式(2)迭代计算移动均值,若迭代前后的差值小于阈值 ε 迭代收敛,即 $\|m(x) - x\| < \varepsilon$,则停止计算,否则将 $m(x)$ 赋值给 x 。

3) 将迭代后空间距离小于 h_s ,光谱距离小于 h_r 的点划分为一个聚类对象,并将对象的值设置为对象内所有像元值的均值。

2.3 房屋特征分析

2.3.1 光谱特征分析

研究区内房屋在图像上多呈现灰色或灰蓝色,各波段像元值都大于100。由于房顶纹理、颜色比较均匀,利用MS算法将影像分割为若干“同质”像素的集合后,房屋基本都被分为一个或有限的几个

对象,若为多个对象时,都以屋脊为界。

2.3.2 纹理特征分析

纹理是对影像各像元之间空间分布的一种描述,可以较好地用于解决同谱异物和同物异谱现象,因而可以与其他分类方法结合使用以提高识别精度。提取纹理特征的方法较多,其中灰度共生矩阵方法应用较广泛。根据共生矩阵,Haralick^[17]定义了均值、方差、熵、对比度、同质性和相关性等纹理指数,本文中用到了均值(Mean)、方差(VAR)和熵(Ent)3种特征。Mean表示对象的平均灰度值;VAR表示对象各像元的灰度变化大小;Ent表示对象的无序程度,公式分别为

$$Mean = \frac{1}{n \times n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f(i,j), \quad (3)$$

$$VAR = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [f(i,j) - Mean_{n \times n}]^2, \quad (4)$$

$$Ent = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f(i,j) \lg[f(i,j)]. \quad (5)$$

上述纹理指数基于双边滤波后的影像按11像元×11像元的窗口计算,影像分割后再分别计算对象内像元Mean,VAR和Ent这3个指数的均值。此外,还计算了对象的光谱最小值(Min)、最大值(Max)和范围(Range)。图1为一组实验数据的原始影像及其6种纹理特征结果。

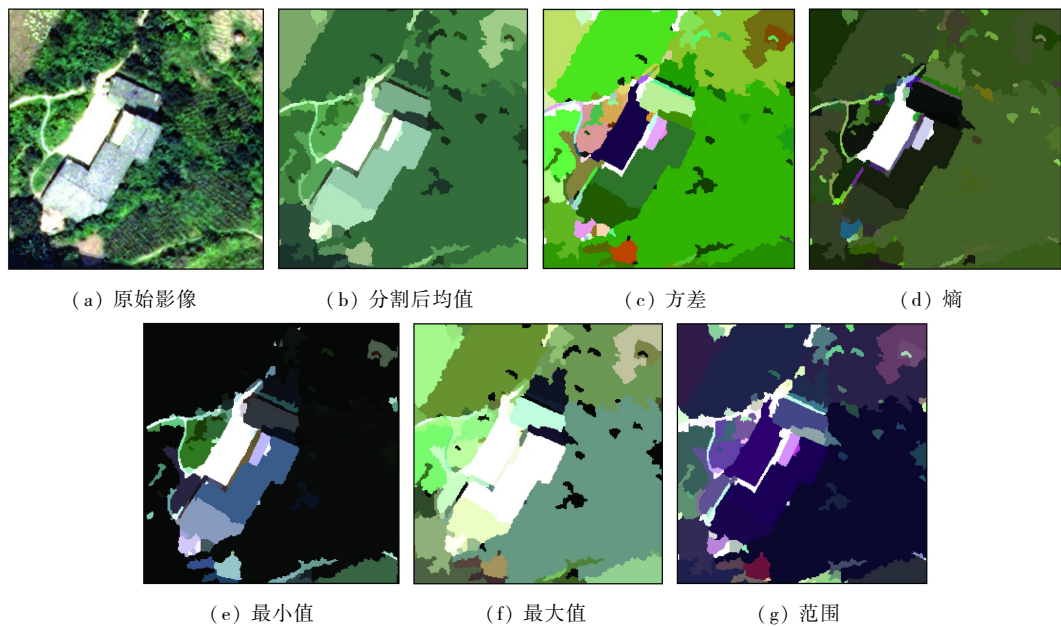


图 1 实验数据及其不同纹理特征结果

Fig.1 Experimental data and its different textural features

分析图 1 中不同纹理特征的结果发现,房屋对象和其他地物对象在均值、方差、最大值、最小值以及熵的信息差别明显。房屋对象的均值为灰色,而其他地物为偏绿色或白色;在方差信息上,由于房顶相对比较均匀,因此其方差要小于林地和耕地等。

2.3.3 形状特征分析

在研究区内,房屋屋顶和硬化道路的光谱、纹理较为相似,但两者的形状区别明显。农村房屋的形状一般都为矩形,且面积有一定的范围,而道路则呈现长带状且面积较大,因此本文也提取了分割后对象的面积 A 和体态比 C 来对屋顶和硬化道路进行区分。其中 A 定义为对象边界所包围的面积; C 定义为对象所在区域最小外接矩形的长除以宽。

2.4 房屋提取算法

根据分割后影像中房屋对象的光谱、纹理和形状特征统计分析结果,并对比其他地物类别的特征后,建立了如表 1 所示的房屋提取规则,表中 R 、 G 和 B 值为对象不同波段的均值。

表 1 房屋提取规则

Tab.1 Extraction rules of rural residential area

特征	提取规则 ^①
光谱特征	$\text{Min}(R, G, B) > 100, \text{Max}(R, G, B) < 200, B > 120$
纹理特征	$\text{Max}[\text{Range}(R, G, B)] < 90, \text{Max}[\text{VAR}(R, G, B)] < 40, \text{Max}[\text{Ent}(R, G, B)] < 50$
形状特征	$10 \text{ m}^2 < A < 500 \text{ m}^2, C > 0.2$

①分割后对象特征满足表中所有条件,即提取对象为房屋。

3 实验结果

3.1 影像分割结果

在 IDL8.0 + ENVI4.8 编程环境下实现上述滤波、分割和房屋提取流程。首先利用一组实验数据来检验 MS 算法,同时也利用非监督分类的迭代自组织数据分析算法 (iterative selforganizing data analysis techniques algorithm, ISODATA) 和监督分类方法的最大似然法进行对比验证,图 2 为 6 种不同地物的实验结果。

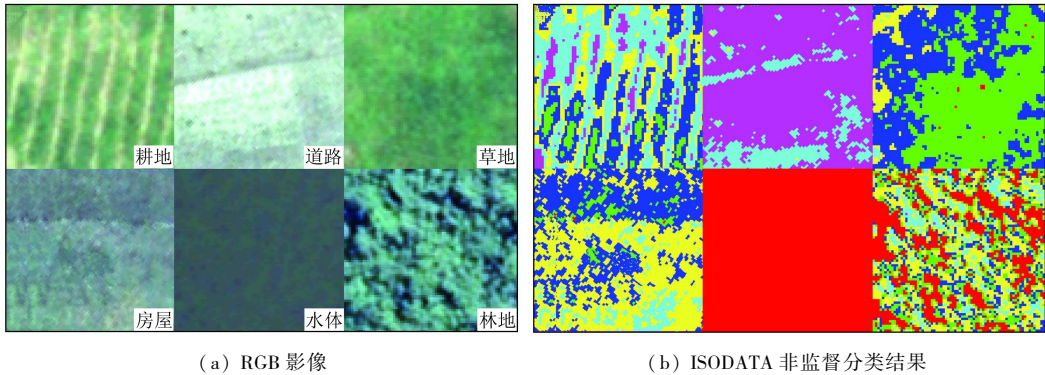


图 2-1 无人机遥感影像分割结果

Fig.2-1 Segmentation results of UAV imagery

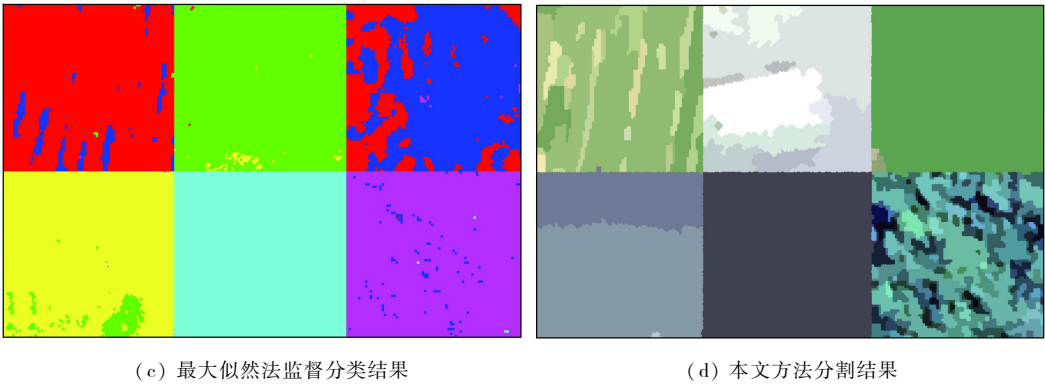


图 2-2 无人机遥感影像分割结果

Fig. 2-2 Segmentation results of UAV imagery

图 2(a) RGB 影像中包括了从无人机遥感影像不同位置选出的 6 种具有不同纹理特征的典型地物。ISODATA 非监督分类时最小和最大类别都设置为 6,迭代阈值为 0.05,最大迭代次数为 100。最大似然监督分类中样本类别为 6 类,分别在不同地物的中心选择,每类样本的像元个数大于 3 000。

从图 2 可以看到,对于高分辨率影像,ISODATA 非监督分类结果中除了水体之外,其他类别的分类结果几乎都不可用,而且传统基于像元的方法带来了严重的椒盐噪声;最大似然监督分类结果要好于非监督分类结果,但对于耕地、草地和农村房屋,仍

有较多像元被误分为其他类别;而本文的 MS 算法,房屋、草地和水体几乎都实现了完美分割。但分割结果中,房屋屋顶被分成了 2 部分,主要是因为遥感影像中屋顶的颜色由于屋脊两侧对光照反射方向的不同有所差异,不过这 2 部分可以在分割后的分类中进行合并。综上所述,面向对象的 MS 分割方法优于传统基于像元的分类方法。

3.2 农村房屋信息提取结果

分别利用本文算法和人工目视解译的方法,对无人机遥感影像中 8 处不同布局的农村房屋进行提取。并将提取结果进行对比,如图 3 所示。

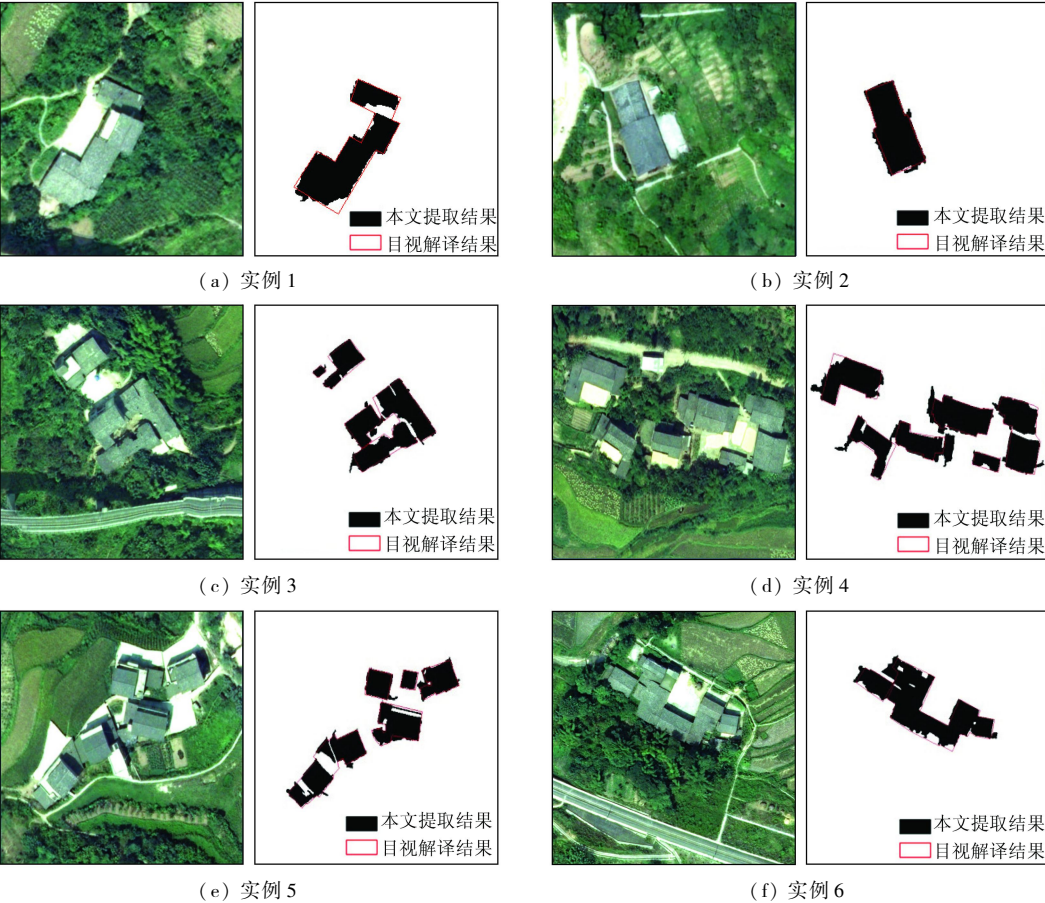


图 3-1 研究区原始遥感影像和农村房屋信息提取结果

Fig. 3-1 Original images and the extraction results of rural residential area

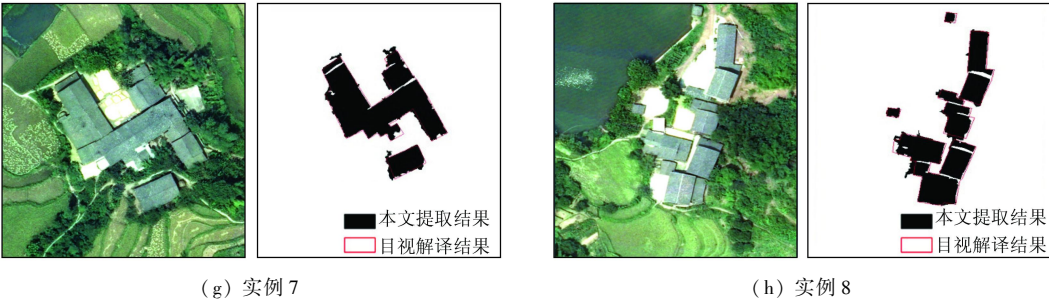


图 3-2 研究区原始遥感影像和农村房屋信息提取结果

Fig. 3-2 Original images and the extraction results of rural residential area

图 3 中包括 8 处不同布局的农村房屋影像,其中左图为原始遥感影像,右边黑色区域为本文算法提取的房屋信息,红色多边形为目视解译结果。将目视解译结果作为参考数据,对算法提取结果进行精度评价,分别计算了制图精度和用户精度,结果如表 2 所示。

表 2 房屋信息提取结果精度验证
Tab. 2 Validation of extraction results (%)

编号	制图精度	用户精度
(a) 实例 1	89.18	95.40
(b) 实例 2	99.24	89.26
(c) 实例 3	91.94	92.11
(d) 实例 4	86.94	91.02
(e) 实例 5	93.29	86.18
(f) 实例 6	90.65	92.34
(g) 实例 7	94.45	94.29
(h) 实例 8	91.34	94.31
平均值	92.13	91.86

制图精度是正确分类数占参考数据的比例,此处表示红色多边形和黑色像元的交集面积占红色多边形面积的比例;用户精度是正确分类数占该类别的比例,此处为交集面积占黑色像元面积的比例。

从表 2 中可以看出,本研究建立的无人机高分辨率遥感影像的农村房屋提取方法,可以很好地对农村房屋信息进行提取,提取结果精度较高,基本都大于 90%。但是,也发现部分房屋信息有遗漏的情况。通过对比提取结果和原始影像后发现,漏分主要发生在阴影区域。由于阴影投影到房顶需要满足一定的几何关系,研究区遥感影像中阴影区域并不多。但为了减少阴影对提取精度的影响,无人机航拍时间应尽量选择太阳高度角较大的正午时段。

4 结论与讨论

本文基于无人机高分辨率遥感数据,提出了一种农村房屋信息提取方法,得出以下结论:

1) 和传统中低分辨率卫星遥感影像相比,无人机遥感影像空间分辨率高,但波段数较少。由于光

谱波段的减少和影像信息的细节化,造成了类内方差的增大和类间方差的减少。因此,建立在中低分辨率影像光谱信息基础上的分类方法,不适用于高分辨率的无人机遥感数据,需要发展新的处理方法和分类技术。

2) 本文利用均值移动分割算法对无人机遥感影像进行分割,然后根据分割后房屋对象的特征,建立了房屋信息的提取规则。实验结果显示,本文方法提取的农村房屋信息精度较高,平均精度约为 92%,明显优于传统基于像元的分类方法。

3) 研究发现阴影会影响结果的精度,因此无人机航拍时间应选择太阳高度角较大的时段。此外,本文方法最适用于青瓦房顶的房屋信息提取,对于其他材质房顶房屋的信息提取则有待进一步研究。

参考文献(References):

[1] 陈玉福,孙虎,刘彦随. 中国典型农区空心村综合整治模式[J]. 地理学报,2010,65(6):727-735.
Chen Y F, Sun H, Liu Y S. Reconstruction models of hollowed villages in key agricultural regions of China[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(6): 727-735.

[2] 孔雪松,刘耀林,邓宣凯,等. 村镇农村居民点用地适宜性评价与整治分区规划[J]. 农业工程学报,2012,28(18):215-222.
Kong X S, Liu Y L, Deng X K, et al. Suitability evaluation and consolidation division of rural residential areas in villages and towns[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(18): 215-222.

[3] 宋伟,陈百明,姜广辉. 中国农村居民点整理潜力研究综述[J]. 经济地理,2010,30(11):1871-1877.
Song W, Chen B M, Jiang G H. Research on land consolidation potential of rural habitat in China: Review and preview[J]. Economic Geography, 2010, 30(11): 1871-1877.

[4] Xian G, Crane M. Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 97(2): 203-215.

[5] Jin X Y, Davis C H. Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual, and spectral information[J]. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2005: 2196-2206. doi:10.1155/ASP.2005.2196.

[6] 崔世勇. 高分辨率遥感影像建筑物半自动提取方法研究[D].

北京:中国测绘科学研究院,2009.

Cui S Y. Semi - Automatic Building Extraction from High Resolu - tion Remote Sensing Images [D]. Beijing: Chinese Academy of Surveying and Mapping,2009.

[7] 徐涵秋,杜丽萍. 遥感建筑用地信息的快速提取[J]. 地球信息科学学报,2010,12(4):574 - 579.

Xu H Q, Du L P. Fast extraction of built - up land information from remote sensing imagery[J]. Journal of Geo - Information Science , 2010,12(4):574 - 579.

[8] 杨清华,李景华,韩 旭,等. QuickBird 遥感数据在土地整理工作中的应用[J]. 国土资源遥感,2007,19(4):72 - 75. doi:10. 6046/gtzyyg. 2007. 04. 16.

Yang Q H, Li J H, Han X, et al. The application of QuickBird re - mote sensing data to land re - organization[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2007,19(4):72 - 75. doi:10. 6046/gtzyyg. 2007. 04. 16.

[9] 李德仁,李 明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前景[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2014,39(5):505 - 513,540.

Li D R, Li M. Research advance and application prospect of un - manned aerial vehicle remote sensing system [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University , 2014 , 39 (5) : 505 - 513,540.

[10] 汪 沛,罗锡文,周志艳,等. 基于微小型无人机的遥感信息获取关键技术综述[J]. 农业工程学报,2014,30(18):1 - 12.

Wang P, Luo X W, Zhou Z Y, et al. Key technology for remote sensing information acquisition based on micro UAV [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering , 2014 , 30 (18) : 1 - 12.

[11] 李凤娟. 无人机技术在水库百万亩土地整治中的应用[J]. 地理空间信息,2014,12(4):40 - 41.

Li F J. Application of UAV technology on the Tianshui ' s one mil - lion mu of land reclamation project [J]. Geospatial Information , 2014 , 12 (4) : 40 - 41.

[12] 雷双友,尹向红,李轩宇. 无人机遥感技术在城镇土地集约利用监测评价中的应用[J]. 测绘通报,2011(7):34 - 36.

Lei S Y, Yin X H, Li X Y. Application of UAV RS to monitoring and evaluating of intensive land - use [J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2011(7):34 - 36.

[13] 张文博. 无人机航测技术在土地综合整治中的应用研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2013.

Zhang W B. The Application Research of UAV Aerial Survey in Comprehensive Renovation of Land [D]. Changsha:Changsha Uni - versity of Science and Technology,2013.

[14] 何少林,徐京华,张帅毅. 面向对象的多尺度无人机影像土地利用信息提取[J]. 国土资源遥感,2013,25(2):107 - 112. doi:10. 6046/gtzyyg. 2013. 02. 19.

He S L, Xu J H, Zhang S Y. Land use classification of object - ori - ented multi - scale by UAV image [J]. Remote Sensing for Land and Resources , 2013 , 25 (2) : 107 - 112. doi:10. 6046/gtzyyg. 2013. 02. 19.

[15] Tomasi C, Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images [C] // Proceedings of the 6th International Conference on Comput - er Vision. Bombay: IEEE, 1998 : 839 - 846.

[16] 韩现伟. 大幅面可见光遥感图像典型目标识别关键技术研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.

Han X W. Study on Key Technology of Typical Targets Recognition from Large - Field Optical Remote Sensing Images [D]. Harbin : Harbin Institute of Technology,2013.

[17] Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for im - age classification [J]. IEEE Transactions on Systems , Man , and Cy - bernetics , 1973 , SMC - 3 (6) : 610 - 621.

Rural residential area extraction from UAV remote sensing imagery

HU Yong^{1,2}, ZHANG Xiaocheng^{1,2}, MA Zezhong^{1,2}, ZHOU Zhiyue^{1,2}

(1. Chongqing Institute of Surveying and Planning for Land Resources and Housing, Chongqing 400020, China;
2. Chongqing Engineering Research Center of Land Use and Remote - Sense Monitoring, Chongqing 400020, China)

Abstract: In order to improve the automatic level of information extraction , this paper proposes an automated rural residential area detecting procedure from UAV remote sensing imagery based on object - oriented segmentation. Firstly, the bilateral filtering is performed on UAV remote sensing image to eliminate the image noise . Secondly, the filtered image is segmented based on mean shift clustering algorithm . Thirdly, the rural residential area is detected from the segmented image according to the features of rural residential objects . This method was tested using UAV remote sensing images , and the result showed that the rural residential area could be extracted effectively , with an average accuracy about 92% .

Keywords: UAV; object - oriented segmentation ; mean shift ; information extraction

第一作者简介: 胡 勇(1985 -),男,博士,研究方向为遥感数据量化处理与土地利用遥感。Email: rihor@sina.com。
通信作者: 张孝成(1966 -),男,正高级工程师,研究方向为国土资源信息化。Email: ccqzxc@sina.com。

(责任编辑: 陈 理)