

文章编号: 1108-2786-(2016)1-121-06

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000108

利用无人机影像进行山区土地利用信息动态监测

付 箫^{1 2 3} 鲁 恒^{1 2 4*} 朱 庆³ 刘铁刚^{1 2} 苟 思^{1 2}

(1. 四川大学/水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065;

2. 四川大学水利水电学院, 四川 成都 610065;

3. 西南交通大学/地球科学与环境工程学院, 四川 成都 611756;

4. 成都理工大学国土资源部地学空间信息技术重点实验室, 四川 成都 610059)

摘 要: 彭州地处成都平原与龙门山的过渡地带, 土地利用状况具有强度高、类型多、复杂度大的特点, 土地类型变化非常快。同时, “5·12”汶川大地震严重破坏了该区域的生态环境, 这场大灾难导致了地震灾区土地利用在类型和结构上都发生了巨大变化。因此, 如何快速的获取最新的土地利用信息对于灾后重建及政府决策具有重要意义。利用无人机高空间分辨率影像作为数据源, 首先引入 SIFT 算法完成了无人机影像的自动拼接, 然后采用面向对象的分析技术获取了两期无人机影像的土地利用类型, 着重研究了影像最优分割尺度的获取, 最后建立了土地利用动态监测系统获取了两期土地利用信息的变化量, 提出了一种适用于四川盆地多云雾山地区土地信息动态监测方法。通过对实验区两期影像的分析研究, 快速获取了各类型地类的变化量, 并对变化原因进行了分析。研究表明: 利用无人机影像进行土地利用动态监测能克服多云雾山地区卫星影像难以实时获取问题, 能快速、高效的获得土地变更信息。

关键词: 无人机影像; 动态监测; 土地利用信息; 自动拼接; 最优分割尺度

中图分类号: P231.5

文献标志码: A

土地是人类赖以生存与发展的重要资源和物质保障, 是有限可重复利用的自然资源^[1]。一个地区的土地利用结构状况在很大程度上反映了该地区自然资源条件及社会经济发展的状况^[2]。成都平原土地利用具有高强度、类型多样等特点, 快速的获取土地变更信息能为开发利用区域资源、制定可持续发展决策提供依据^[3]。由于四川盆地多云雾天气不利于卫星影像和载人航空飞机影像的实时获取,

利用无人机低空航拍可解决多云雾地区数据获取困难的问题。无人机航拍相对于载人飞机航空遥感、卫星遥感具有以下优势: ①成本较低廉, 适合小单位和县乡一级的土地调查单位, 而高分辨率的国外商业卫星影像价格昂贵, 一般的单位无力承受; ②灵活性较高, 可根据任务随时起飞, 不受地理条件的限制, 所获的资料时效性强, 当对影像的时效性要求比较高时, 商业途径购买的卫星影像一般为历史存档

收稿日期(Received date): 2015-07-20; 改回日期(Accepted): 2015-09-01。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(51209153); 2014 基础测绘科技计划项目“基于无人机高分影像灾害信息快速识别与特征提取处理系统”; 数字制图与国土信息应用工程国家测绘地理信息局重点实验室开放基金(DM2014SC02); 国土资源部地学空间信息技术重点实验室开放基金(KLGSIT2015-04)。[National Natural Science Foundation Project(51209153), Special Fund by Mapping Technology Plan in 2014 “Using UAV images to Identify and Extract Disaster information”, the Key Laboratory of Digital Mapping and Land Information Application of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation of China(DM2014SC02) and the Key Laboratory of Geo-special Information Technology, Ministry of Land and Resources of China(KLGSIT2015-04)。]

作者简介(Biography): 付箫(1992-), 女, 云南德宏人, 在读硕士研究生, 主要从事遥感影像处理、图像理解研究。[Fu Xiao(1992-), female, born in Dehong, Yunnan Province, graduate student, research on remote sensing image processing and image understanding.] E-mail: show-er.520@163.com

* 通信作者(Author for correspondence): 鲁恒(1984-), 男, 博士。[Lu Heng(1984-), male, doctor.] E-mail: luheng@scu.edu.cn

数据,达不到动态监测的目的;③适合进行分散区域或小区域航拍,对于分散和小区域的土地利用信息监测,无人飞机具有巡航距离远、可靠性高的优点;④分辨率更高,要做到土地变更的快速详查,必须要求高分辨率的图像,特别是在城乡结合处等地类复杂和破碎的地方更需要高分辨率图像^[4-5]。多光谱传感器的功能愈发强大,随之而来的是无人机遥感在光谱分辨率进一步提升方面将会有更突出的应用^[6-8]。

然而,无人机遥感也有其相应的缺点:①姿态参数不够精确,影像纠正的难度较大;②影像的通道数较少,利用传统的分类方法分类精度低;③处理方法还不够成熟,缺少专业系统软件^[9]。本文针对上述无人机遥感及其航拍影像的特点,提出了一种改进的SIFT算法,完成无人机影像的快速拼接,建立了分割质量函数获取最优分割尺度,完成了影像分割;根据分割对象建立对象特征库,完成影像分类;最后开发了土地利用信息动态监测系统,完成了研究区土地利用信息的动态监测,提出了适用于多云雾山区土地利用信息动态监测的方法。

1 研究区概况与实验流程

基于四川省成都市彭州市地震灾区对信息的获取要求迫切的实际情况,试验选择彭州市葛仙山镇

熙玉村的“5·12”汶川地震灾后重建安置区,其特点是地势变化幅度较大,受地震影响较大。就地理位置而言,彭州是位于成都平原与龙门山过渡地区,整体的地貌较为复杂,西北高而东南低,试验区海拔最高达1320 m,最低海拔623 m(图1)。

利用无人机对土地利用及其变化状况进行动态监测的方案主要包括以下部分:

1) 获取无人机影像数据:基于无人机遥感平台,对试验区域的航线进行规划,实现数据的获取。

2) 影像数据自动拼接:利用改进的基于特征点的影像拼接方法对无人机影像进行自动拼接,即将实验区同期间拍摄的多张影像拼接为一张影像图。

3) 影像数据配准:将拼接好的影像图进行配准,便于后续的空间分析与变化检测。

4) 影像分割:建立了分割质量函数,获取最优分割尺度完成了影像分割。

5) 影像分类:建立合适的分类体系,运用面向对象的影像分析技术提取各类别的地类,并进行分类精度检验。

6) 土地利用信息动态监测:对两期分类后的影像进行地理编码后,导入到土地利用信息动态监测系统中进行叠加分析即可得到土地类型统计结果及土地变更统计结果。

7) 变化原因分析:对土地类型变化原因进行分析,检验重建是否合理。

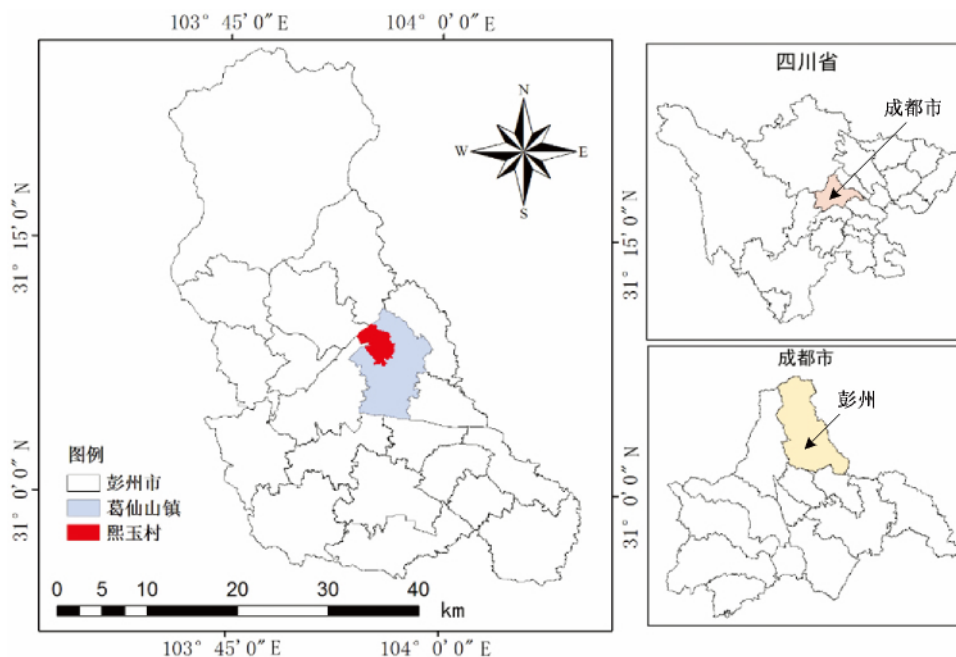


图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of the Xiyu Village selected for the experimental purpose

实验具体流程如图 2 所示:

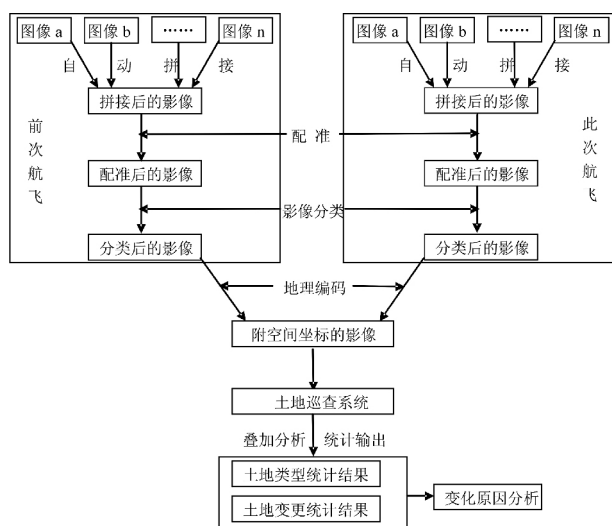


图 2 基于无人机影像的土地利用信息动态监测流程

Fig. 2 Flow of landuse information dynamic monitoring based on UAV images

2 数据和方法

2.1 数据获取

实验中设定的无人机飞行高度是 650 m,飞行方向的重叠度是 70%,旁向的重叠度则是 40%,整体飞行覆盖了将近 10 km²,且飞机配套的相机的镜头焦距为 24 mm。通过实验得到的影像具备的分辨率达到厘米级。本次实验数据分别为 2009 年 2 月和 2010 年 4 月通过无人机航拍所获取。图 3 即为 2010 年 4 月所获取的航向、旁向相邻的无人机影像。

2.2 实验方法

2.2.1 无人机影像快速拼接

本次实验针对无人机影像的特点将 SIFT^[10-11]算法运用在影像的自动拼接方面,计算出 SIFT 算法每个阶段耗费的时间。分析无人机本身的特点进而对算法进行改进,在提取特征点之前先估算每个临近影像之间的重叠度进而有效的减小搜索的范围;对尺度空间的极值进行检测时,利用试验中获得的数据得到优化后的高斯核尺寸,进而有效的解决了传统方式中尺寸固定的不足,节约时间的同时能够获得更多的特征点,最终通过 Levenberg - Marquardt 方法求得精确变换矩阵完成了影像镶嵌^[12]。

2.2.2 面向对象的无人机影像分类

1. 分类体系的建立

通过对照国家对土地实施分类时参照的依据,对实验地区的土地类型结构进行实地调研,并结合无人机影像涵盖的信息进行全面分析,最终建成高效的分类体系。试验地区的土地被划分为:耕地、林地、交通运输用地、住宅用地、草地、其他用地等。

2. 影像分割

分割影像的重点在于经过分割的对象其内部是否具备较好的同质性,对象间是否具备较好的异质性^[13-14]。对象内部的同质性是通过标准差来表示的,具体计算公式为(1)^[15],公式中 v_i 表示标准差, a_i 表示面积,二者都是以对象 i 为自变量的; n 表示对象总数。 v 的值越小表示对象内部的同质性越高。

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n a_i v_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (1)$$

对对象之间的异质性进行分析其实就是全面分析光谱的异质性和形状的异质性并取权重,如公式(2)^[16] f 代表对象之间异质性程度的高低, μ 则表示光谱特征的比重,取值范围为 0 到 1, h_{color} 及 h_{shape} 表示合并后的对象之间的光谱和形状的异质性。

$$f = w \cdot h_{color} + (1 - w) \cdot h_{shape} \quad (2)$$

标准差大小由对象本身大小来衡量权重:

$$h_{color} = \sum_c w_c (n_{merge} \cdot \sigma_c^{merge} - (n_{obj1} \cdot \sigma_c^{obj1} + n_{obj2} \cdot \sigma_c^{obj2})) \quad (3)$$

式中 c 代表影像层数, w_c 影像层所占的权重, n_{merge} 为合并后对象的像元数, σ_c^{merge} 为合并后光谱标准差, n_{obj1} 为合并前对象 1 的像元数; n_{obj2} 为合并前对象 2 的像元数, σ_c^{obj1} 和 σ_c^{obj2} 分别代表合并前对象 1 和对象 2 的光谱标准差。形状异质性 h_{shape} 是紧凑度 $h_{compact}$ 和平滑度 h_{smooth} 的综合。

$$h_{shape} = w_{compact} \cdot h_{compact} + (1 - w_{compact}) \cdot h_{smooth} \quad (4)$$

上式的 $w_{compact}$ 表示在 0 到 1 之间变化的紧凑度权重因子。平滑度和紧凑度的计算公式如(5)和(6):

$$h_{smooth} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{b_{merge}} - (n_{obj1} \cdot \frac{l_{obj1}}{b_{obj1}} + n_{obj2} \cdot \frac{l_{obj2}}{b_{obj2}}) \quad (5)$$

$$h_{compact} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{\sqrt{n_{merge}}} - (n_{obj1} \cdot \frac{l_{obj1}}{\sqrt{n_{obj1}}} + n_{obj2} \cdot \frac{l_{obj2}}{\sqrt{n_{obj2}}}) \quad (6)$$

其中 l_{merge} 表示合并后对象边界的周长, n_{merge} 是合并后对象的像元数, b_{merge} 表示经过合并的外接矩形的周长。基于以上的定义,分析计算对象在合并前后存在的不同,并且分析每次合并前后对象存在



图3 无人机拍摄的相邻5副影像

Fig. 3 Five adjacent images Taken by UAV

的差距的变化情况,最终确定是否需要对象继续发展或是发展新的对象。

理想的分割是基于对象内部较高的同质性和对象之间较高的异质性的,其实就是不断调和 v 同 f 的过程^[17]。设置相关的分割质量函数,并定义为:

$$W(v, f) = mW(v) + (1 - m)W(f) \quad (7)$$

$$W(v) = \frac{v_{\max} - v}{v_{\max} - v_{\min}} \quad (8)$$

$$W(f) = \frac{f_{\max} - f}{f_{\max} - f_{\min}} \quad (9)$$

其中, $W(v)$ 代表影像对象内部的同质性, $W(f)$ 代表影像对象之间的异质性。 m 为指数 v 在分割质量函数中所占权重,其取值范围为^[0, 1]。可根据强调对象内部同质性及对象之间异质性的侧重点不同对 m 的取值范围进行调整。

根据上述函数关系,建立以分割尺度 x 为自变量的分割函数,从而可计算出最优分割尺度。

$$T_n(x) = t_0 + t_1 + t_2x^2 + \cdots + t_nx^n \quad (10)$$

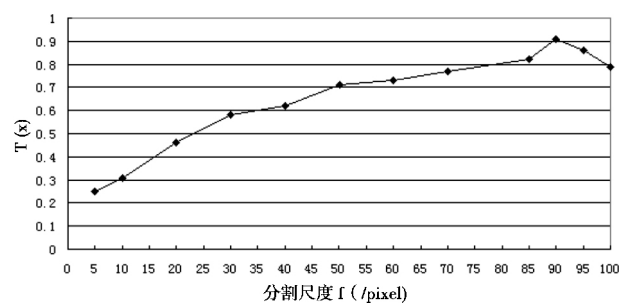
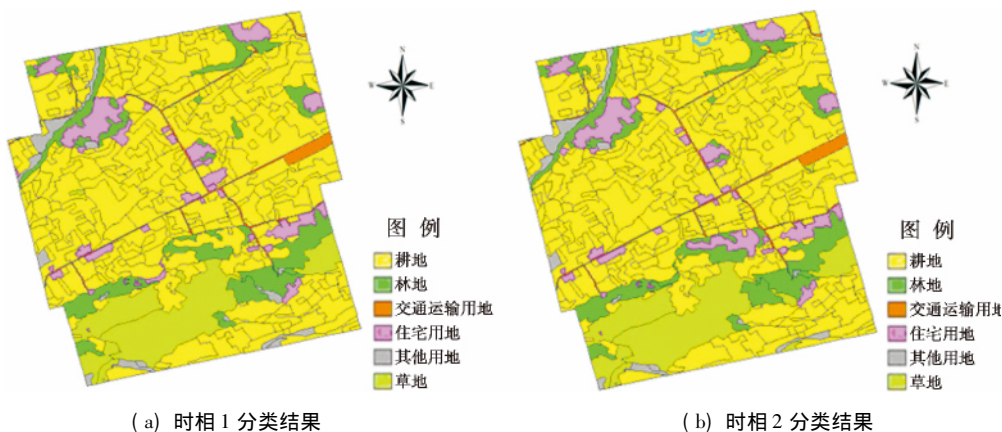
上式中 $T_n(x)$ 表示质量函数,其中自变量是 x ,

$T_n(x) = W(v_{x_i}, f_{x_i})$ 。对影像实施 $n+1$ 次的预分割,基于式(1)~(9)计算出 $n+1$ 个 $W(v, f)$ 的值,进而求得系数 t_0, t_1, \cdots, t_n 的数值,进而得到质量函数。若 $T_n(x)$ 取最大值,此时对应的自变量就是最优化的分割尺度。

根据上述分析,对分割尺度的范围进行限定,将其限定在 5 到 100 范围内,且将步长设置为 5,依次计算每个分割尺度对应的 $T_n(x)$ 。 $T_n(x)$ 取最大值时对应的是最优化的分割尺度。图 4 给出了每个分割尺度对应的 $T_n(x)$ 。若分割尺度到达 90 时,对应的 $T_n(x)$ 值取得最大值。因此,90 为最佳分割尺度,本文无人机影像即采用 90 为分割尺度。

3. 影像分类

对影像实施分割就是为了进一步得到分类对象。对影像进行分类的核心部分就是对影像蕴含的特征信息进行有效的提取。分析影像的特征信息,进而得到能够用于分类的特征信息,之后以这些信息为依据对对象实施分类处理。根据建立的分类定义分别对各类型地物进行提取。得到的分类结果如图 5 所示。

图4 无人机影像处于各个分割尺度时的 $T_n(x)$ Fig. 4 $T_n(x)$ values in different segmentation scales

(a) 时相 1 分类结果

(b) 时相 2 分类结果

图5 两个时相无人机影像分类结果

Fig. 5 Results of two phases image classification

在考察分类方法能否发挥作用方面,分类精度具有重要作用。分类精度评价的信息能够用来进一步改善结果。此次试验是通过野外调研得到的样本进一步对分类的结果的精度进行评价,且随机选择 502 个均匀分布的点在精度评价过程中作为参考,对对应地区的数据进行比对分析,最终得到该次分类结果的总体精度达到 86.21%, Kappa 系数为 0.84。

3 结果与分析

为实现土地利用信息的动态监测,本文利用 ArcEngine + Visual C#开发平台,构建了一个基于 C/S 的土地利用信息动态监测系统,该系统实现了土地利用信息结果的可视化显示、查询、统计分析、地图输出、数据管理与输出等功能。将获得的安置点两个时相分类结果导入系统,进行叠加分析,即可统计出两个时相的土地利用信息及其变化量。土地利用信息统计结果及变化情况如表 1。

表 1 土地利用信息统计结果
Tab. 1 Results of Land Information statistics /m²

土地类型	时相 1 所占面积	时相 2 所占面积	变化量统计
耕地	10 122.61	9 592.78	- 529.83
林地	1 824.78	1 869.32	44.54
交通运输用地	1 307.86	1 523.22	215.36
住宅用地	1 665.28	1 911.39	246.11
草地	300.30	291.85	- 8.45
其他用地	2 102.33	2134.60	32.27

通过对两个时相分类结果影像和土地利用变更情况进行对比可以发现:

- 1) 该安置点住宅用地在重建前呈现居民点密度低、规模小、分布分散、聚集程度低等特点。重建时着重考虑了进行居民点归并,合理布局居民点位置,提高居民点布局集聚程度。
- 2) 该安置点区域内重建后耕地面积有所减少,这是由于集中重建住宅用地和交通运输用地占用了部分耕地。在总体上来看,应该积极响应国策,在整体上保持耕地总量的动态平衡。
- 3) 重建后交通运输用地所占面积有所增长,这说明重建后安置点内道路有所增多。

4 结束语

针对多云雾山地区域卫星影像难以实时获取问

题,针对无人机高分辨率影像的特点,通过对无人机影像自动拼接、影像分割、分类等关键技术的研究,形成了一套基于无人机影像的多云雾山地区域土地利用信息动态监测方案。实验过程中发现由于无人机影像数据量大,当涉及影像数量多的情况进行拼接时会损失部分影像分辨率,如何在不损失分辨率的前提下进一步提高拼接和分类的效率是下一步需要重点考虑的问题。

参考文献(References)

[1] 贺东升,刘华,刘军萍. 基于“3S”技术的北京郊区土地利用研究[J]. 中国农业资源与区划, 2009, 30(1): 41-45 [He Dongsheng, Liu Hua, Liu Junping. Studies on Beijing outskirts' land Utilization based on 3S technology [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2009, 30(1): 41-45]

[2] 杨武年,刘恩勤,陈宁,等. 成都市土地利用遥感动态监测及驱动力分析[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(2): 185-190 [Yang Wunian, Liu Enqin, Chen Ning, et al. Remote sensing dynamic monitoring and driving force analysis of land use/cover changes in Chengdu [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2010, 45(2): 185-190]

[3] 邵永社,张绍明,张雷雨,等. 高分辨率遥感影像土地利用动态监测技术研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(9): 161-163 [Shao Yongshe, Zhang Shaoming, Zhang Leiyu et al. Dynamic monitoring research based on high resolution imagery for land use [J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(9): 161-163]

[4] Z Sun, R Ma, Y Wang. Using Landsat data to determine land use changes in Datong basin [J]. Environmental Geology, 2009, 57(3): 1825-1837

[5] 王利民,刘佳,杨玲波,等. 基于无人机影像的农情遥感监测应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 136-145 [Wang Limin, Liu Jia, Yang Lingbo, Chen Zhongxin, et al. Applications of unmanned aerial vehicle images on agricultural remote sensing monitoring [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(18): 136-145]

[6] Lunetta R, Johnson D M, Lyon J G, et al. Impacts of imagery temporal frequency on land-cover change detection monitoring [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(10): 444-454

[7] Rogan J, D M Chen. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change [J]. Progress in Planning, 2004, 61(4): 301-325

[8] Uuema E, Roosaare J, Mander U. Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for nutrient and organic matter losses from catchments [J]. Ecological Indicators, 2005, 8(5): 350-369

[9] 鲁恒,李永树,李何超,等. 无人机影像数字处理及在地震灾区重建中的应用[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(4): 533-538 [Lu Heng, Li Yongshu, Li Hechao, et al. Digital processing of unmanned aerial vehicle images and its application in the reconstruction of the quake-stricken area [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2010, 45(4): 533-538]

[10] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91

- 110

- [11] Yan K ,Rahul S. PCA – SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors [J]. *Computer Vision and Pattern Recognition* 2004 20(2) : 506 – 513
- [12] 鲁恒,李永树,何敬,等. 一种基于特征点的无人机影像自动拼接方法[J]. *地理与地理信息科学* 2010 26(5) : 16 – 19 [Lu Heng ,Li Yongshu ,He Jing ,et al. A automatic mosaic method in unmanned aerial vehicle images based on feature points [J]. *Geography and Geo-information Science* 2010 26(5) : 16 – 19]
- [13] Moller M ,Lymburner L ,Volk M. The comparison index: A tool for assessing the accuracy of image segmentation [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* ,2007 9(3) : 311 – 321
- [14] Baatz M ,Schape A. Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks [G]//*Proceedings of the 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing* , Enschede , Netherlands ,1999: 16 – 20
- [15] Renaud M ,Claire F ,Jagannath A. Mapping private gardens in urban areas using object-oriented techniques and very high-resolution satellite imagery [J]. *Landscape and Urban Planning* ,2007 81(3) : 179 – 192
- [16] 明冬萍,骆剑承,周成虎,等. 高分辨率遥感影像特征分割及算法评价分析[J]. *地球信息科学* 2006 8(1) : 103 – 109 [Ming Dongping ,Luo Jiancheng ,Zhou Chenghu ,et al. Research on high resolution remote sensing image segmentation methods based on features and evaluation of algorithms [J]. *Geo-Information Science* , 2006 8(1) : 103 – 109]
- [17] [于欢,张树清,孔博,等. 面向对象遥感影像分类的最优分割尺度选择研究[J]. *中国图象图形学报* 2010 15(2) : 352 – 360 [Yu Huan ,Zhang Shuqing ,Kong Bo ,et al. Optimal segmentation scale selection for object-oriented remote sensing image classification [J]. *Journal of Image and Graphics* 2010 15(2) : 352 – 360]

Landuse Information of Mountain Areas Dynamic Monitoring Based on UAV Images

FU Xiao^{1 2 3} ,LU Heng^{1 2 4} ,ZHU Qing³ ,LIU Tiegang^{1 2} ,GOU Si^{1 2}

(1. *State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering* ,Sichuan University ,Chengdu 610065 ,China;

2. *College of Hydraulic and Hydroelectric Engineering* ,Sichuan University ,Chengdu 610065 ,China;

3. *Faculty of Geosciences and Environmental Engineering* ,Southwest Jiaotong University ,Chengdu 611756 ,China;

4. *Key Laboratory of Geo-special Information Technology* ,Ministry of Land and Resources ,Chengdu University of Technology ,Chengdu 610059 ,China)

Abstract: Pengzhou located in the Chengdu Plain and Longmen mountain transition zone. The land use of Pengzhou has the characters of high intensity ,much of styles and complex. The land use changes very quickly. Meanwhile ,the 5.12 Wenchuan earthquake led to a serious damage to the ecological environment in the quake-stricken areas ,this exceptional natural disaster result in the type and structure of land use have changed in great degree in the quake-stricken areas. The land use change information can provide basis for development and use of regional resources and making sustainable development decision. On account of the weather of multi-cloud in Sichuan basin ,it is not conducive to acquire satellite images and manned aircraft images in real-time ,and the low-altitude UAV aerial photography can solve the data acquisition difficulty in multi-cloud mountainous areas. The UAV images automatic mosaic were completed based on SIFT algorithm ,and the object oriented-analysis method was used for obtained two phase of the land use type of UAV images ,The key problem of segmentation is focused on identifying whether the resulting object has good internal homogeneity ,whether the neighbor object has a good heterogeneity ,so focus on the how to obtain optimal segmentation scale ,and a rapid inspection of land information system was established for the two phase information change of land use ,and a landuse information dynamic monitoring method was proposed for the multi-cloud mountainous areas. Through the analysis of the experimental area of two phase images ,change of each land types were obtained quickly ,and the reasons for such changes were analysed. Experimental results show that the proposed land inspection method based on UAV images could acquire land change information rapidly and efficiently in the multi-cloud region.

Key words: UAV images; dynamic monitoring; landuse information; automatic mosaic; optimal segmentation scale