

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.09.044

最优分割尺度支持下高分遥感影像水土资源信息分类

鲁恒^{1,2} 付萧^{3,4} 李龙国^{1,2} 刘超^{1,2} 白茹月⁵ 李乃稳^{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, 成都 610065; 2. 四川大学水利水电学院, 成都 610065;
3. 西南交通大学地球科学与环境工程学院, 成都 611756; 4. 汉诺威莱布尼茨大学摄影测量与地理信息研究所, 汉诺威 30167;
5. 中地六合科工贸有限公司, 成都 610042)

摘要: 为提升水土资源信息分类精度,以无人机航拍获取的高分辨率影像为实验对象,提出了最优分割尺度和决策树支持下的对象级影像分类方法。首先,根据影像内部的同质性和异质性,建立了分割质量函数,通过该函数获取了最优分割尺度;然后,提出了基于光谱信息和面积信息的最优分割尺度评价模型对分割结果进行评价;最后,引入决策树规则机制,完成了水土资源信息分类,并与最大似然法分类结果进行对比。研究表明:所建立的分割质量函数能准确获取最优分割尺度,有效避免了人工分割带来的主观性,所提方法分类总体精度为 86.78%,最大似然分类方法总体精度为 77.59%,在分类精度上有较大提升。

关键词: 高分辨率遥感影像; 最优分割尺度; 决策树; 水土资源信息; 分类

中图分类号: P231.5; TP75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)09-0327-07

Soil and Water Resources Information Classification in High Resolution Images with Optimal Segmentation Scale

Lu Heng^{1,2} Fu Xiao^{3,4} Li Longguo^{1,2} Liu Chao^{1,2} Bai Ruyue⁵ Li Naiwen^{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. Institute of Photogrammetry and GeoInformation, University of Hannover, Hannover 30167, Germany
5. Zondy-LH Co., Ltd., Chengdu 610042, China)

Abstract: With the rapid development of agricultural informationization, the demand for accuracy and reality of regional soil and water resources information data becomes higher and higher. The progress of remote sensing technology makes the selectable data source richer. High spatial resolution images contain rich shape and texture information which are widely used in soil and water resources survey, while traditional image classification method cannot satisfy the requirement any more. Because of this, unmanned aerial vehicle (UAV) images were used as experimental objects, and the image object-oriented classification method based on optimal segmentation scale and decision tree was proposed. Firstly, a segmentation quality function was established based on internal homogeneity and heterogeneity of images, and the optimal segmentation scale was obtained according to this function. Then, optimal segmentation scale evaluation model based on spectral and area information was proposed to evaluate segmentation result. Lastly, soil and water resource information classification was completed by introducing decision tree rule mechanism, and compared with the maximum likelihood classification results. The experimental results showed that the segmentation quality function can obtain optimal

收稿日期: 2016-06-13 修回日期: 2016-06-28

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51209153、41301021)、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项目(DM2014SC02)和国土资源部地学空间信息技术重点实验室开放基金项目(KLGSIT2015-04)

作者简介: 鲁恒(1984—),男,讲师,博士,主要从事3S技术在农业信息化中的应用研究,E-mail: luheng@scu.edu.cn

通信作者: 李龙国(1970—),男,副教授,主要从事农业水土工程研究,E-mail: cwrh_awr@scu.edu.cn

segmentation scale accurately, and avoid the subjectivity of manual segmentation. The overall accuracy is 86.78% and compared with 77.59% of maximum likelihood classification method has a great improvement in classification accuracy.

Key words: high resolution images; optimal segmentation scale; decision tree; soil and water resources information; classification

引言

在当今精准农业技术高速发展的时代,快速、准确地获取区域地表水土资源分布信息已经成为农业信息化领域研究的重点问题。对高分辨率遥感影像和地理空间信息的需求量越来越大,对其现势性、实时性及准确性要求也越来越高^[1-4]。目前,采集地表水土资源信息的技术手段主要分为两类:一类是地面测量方式,如全站仪大比例尺数字测图技术等;另一类是空间对地观测方式,如卫星遥感观测、航空遥感等技术等^[5-6]。

通过各种对地观测传感器获取的影像种类越来越多,分辨率也越来越高。传统的影像分类技术(人工目视解译、面向像元分类)已难以适应高分辨率影像,对象级影像分类技术应运而生^[7]。对象级影像分类技术所面临的首要问题是影像分割,分割质量的好坏直接决定了最终分类的精度,因此,针对高分辨影像如何获取最优的分割尺度已成为对象级影像分类技术的关键。决策树分类方法具有结构清晰、易于理解、实现简单、运行速度快、准确性高等特点,且不需要假设先验概率分布,非参数化的特点使其具有更好的灵活性和鲁棒性^[8]。基于此,本文选取无人机航拍获取的高分辨影像作为实验对象,提出一种最优分割尺度和决策树支持下的高空间分辨率影像水土资源信息对象级分类方法。

1 研究区概况及工作流程

应成都平原地震灾区重建后水土资源信息快速调研的需求,研究区设于彭州市北部葛仙山镇熙玉村,该区域地势起伏较大、受地震影响水土资源利用类型复杂度高。由于彭州市地处成都平原与龙门山过渡地带,因此地质构造较为复杂,整个地势为西北高东南低,最高海拔高度 1 320 m,最低海拔高度 623 m。研究区地理位置如图 1 所示。

由于无人机飞行姿态不稳定,搭载的相机为非量测型数码相机,拍摄的影像存在较严重的镜头畸变,且由于飞行过程中曝光时间不同会导致影像色彩存在色差,因此需要首先对获取的无人机影像进行畸变差校正、影像匀色和正射校正^[9-10]。然后根据影像内部的同质性和异质性,建立分割质量函数,

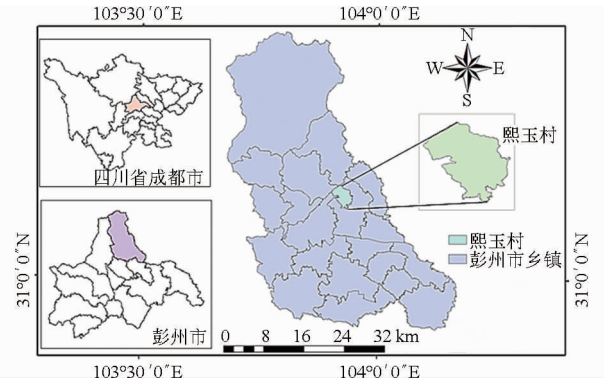


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of study area

求取最优分割尺度,进而提出了基于光谱信息和面积信息的最优分割尺度评价模型对分割结果进行评价,最后引入决策树规则完成水土资源信息分类,并与最大似然法分类结果进行对比,对分类结果进行定量评价。主要工作流程如图 2 所示。

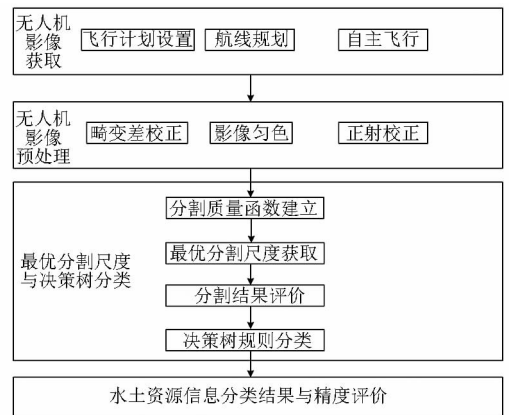


图 2 无人机影像水土资源信息分类流程图

Fig. 2 Flow chart of soil and water resources information classification from UAV image

2 实验数据与方法

2.1 数据获取与预处理

实验预设无人机飞行的相对航高为 650 m,预设航向重叠度 75%,旁向重叠度 45%,飞行范围覆盖 20 km²,飞机所装载的相机镜头焦距为 24 mm,获取的无人机影像地面分辨率达到 0.2 m,通过预设的飞行航线获取的原始无人机影像如图 3a 所示。

首先根据相机的畸变参数对影像进行畸变差校正,然后采用掩膜方法对影像进行匀色、匀光处理,



图3 原始影像和预处理后影像

Fig. 3 Original image and image after preprocessing

通过飞行控制系统记录的飞机姿态参数数据,对影像进行初步排序定位后进行相邻像对同名点匹配。最后,根据共线方程条件进行区域网平差。区域网平差完成后,加入地面控制点坐标信息,完成绝对定向,进而获取校正后的正射影像,经过预处理后的无人机影像如图3b所示。

2.2 分割质量函数建立

高分辨遥感影像分割过程中,同质性和异质性是两个最重要的评判指标。因为同质性和异质性是影像完成分割后评判分割质量好坏的关键,根据内部同质性越高、异质性越低,外部异质性越高、同质性越低的原则可判断分割结果好坏^[7]。为简化,本文选用标准差来表示同质性,即

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

式中 v_i ——对象 i 的标准差

a_i ——对象 i 的面积

n ——分割后对象总数

v ——同质性程度

v 越小,说明异质性越小,即同质性越好。

异质性是对象之间光谱属性特征和形状属性特征的差异性程度,即

$$f = wh_c + (1 - w) h_{sh} \quad (w < 1) \quad (2)$$

式中 f ——异质性程度 w ——权重

h_c 、 h_{sh} ——对象合并后的光谱异质性系数和形状异质性系数

标准差的取值由目标大小来制衡,即

$$h_c = \sum_c w_c [n_m \sigma_c^{(m)} - (n_{o1} \sigma_c^{(o1)} + n_{o2} \sigma_c^{(o2)})] \quad (3)$$

式中 c ——影像层数 w_c ——影像层 c 权重

n_m ——合并后像元数

$\sigma_c^{(m)}$ ——合并后光谱标准差

n_{o1} 、 n_{o2} ——合并前对象 1、2 像元数

$\sigma_c^{(o1)}$ 、 $\sigma_c^{(o2)}$ ——合并前对象 1、2 光谱标准差

形状异质性系数 h_{sh} 是紧凑度 h_{cm} 和平滑度 h_{sm} 的综合,即

$$h_{sh} = w_l h_{cm} + (1 - w_l) h_{sm} \quad (4)$$

其中 $h_{sm} = n_m \frac{l_m}{b_m} - \left(n_{o1} \frac{l_{o1}}{b_{o1}} + n_{o2} \frac{l_{o2}}{b_{o2}} \right)$ (5)

$$h_{cm} = n_m \frac{l_m}{\sqrt{n_m}} - \left(n_{o1} \frac{l_{o1}}{\sqrt{n_{o1}}} + n_{o2} \frac{l_{o2}}{\sqrt{n_{o2}}} \right) \quad (6)$$

式中 w_l ——紧凑度权重因子,取 0 ~ 1 之间

l_m ——合并后边界周长

b_m ——合并后外接矩形周长

依据以上定义,对比计算合并前及合并后结果的不同,再评价由合并引发其异质性的改变,最终确定是否需要对象继续生长或者建立新对象。

为了取得较好的分割结果,就需要使对象内部同质性高,外部异质性高。因此建立分割质量函数,定义为

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

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

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

式中 $W(v)$ ——影像对象内部同质性函数

v_{\max} 、 v_{\min} ——最大、最小同质性程度

$W(f)$ ——影像对象之间异质性函数

f_{\max} 、 f_{\min} ——最大、最小异质性程度

m ——指数 v 在函数中所占权重

m 的取值范围为 $[0, 1]$, 可依据强调同质性及异质性的侧重点不同做相应的调整。

根据以上函数关系,构建以分割尺度 x 为自变量的分割函数,然后计算出最优分割尺度,计算式为

$$T_n(x) = t_0 + t_1 x + t_2 x^2 + \dots + t_n x^n \quad (10)$$

其中 $T_n(x_i) = W(v_{x_i}, f_{x_i})$

式中 $T_n(x)$ ——分割尺度 x 的质量函数

通过对影像完成 $n + 1$ 次预分割实验,根据式(1) ~ (9) 求出 $n + 1$ 个 $W(v, f)$ 的值,并且求出系数 t_0 、 t_1 、 \dots 、 t_n 的值,获得分割质量函数。当

$T_n(x)$ 取到最大值时所对应的 x 就是最优分割尺度。

2.3 分割结果评价

通常情况下,现行的影像分割结果评价主要是通过目视定性判别,这难免会有较强的主观性和较大误差。即使有部分学者提出了部分评价分割结果的方法,也是仅考虑了矢量距离^[11]、面积匹配度^[12]等。基于此,综合考虑影响分割结果最重要的两个因素:光谱和面积,提出一种顾及光谱信息和面积信息的最优分割尺度评价模型(Segmentation matching index, SMI),即

$$V_{SMI} = |G_{ri} - G_{si}| \left| \frac{A_{lsi} - A_{roi}}{A_{roi}} \right| \quad (11)$$

式中 A_{lsi} ——最大分割对象面积

A_{roi} ——实际地面物体面积

G_{si} ——最大分割对象灰度均值

G_{ri} ——参考实际地物的灰度均值

如图4所示,对于实际地面物体 A ,分割对象 A_1 、 A_2 、 A_3 均为 A 的一部分,但 A_1 面积最大,所以 A_1 为最大分割对象。

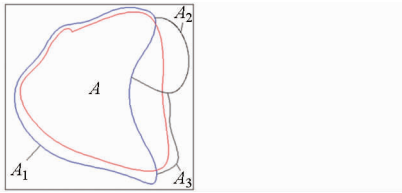


图4 实际地物与分割对象关系

Fig. 4 Relationship between actual objects and segmentation objects

对于所有参与评价的对象,取其均方根误差, M_{SMI} 代表对象匹配指数。当分割对象与实际地面物体差异最小,即 M_{SMI} 取得最小值时,对应的分割尺度最优。 M_{SMI} 计算式为

$$M_{SMI} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_{SMI}^2}{n}} \quad (12)$$

2.4 决策树对象级分类和最大似然法分类

决策树是一种树型结构,其中每个内部结点表示在一个属性上测试,每个分支代表一个测试输出,每个叶结点代表一种类别^[13]。决策树能够处理的数据集对象不仅包含光谱信息,还可以是纹理信息、空间特征等。

根据国家土地利用分类标准和研究区实地调研建立合适的影像分类体系。将研究区的土地利用类型分为:有作物耕地、无作物耕地、林地、道路、建筑用地、裸地和水体。根据不同地物类型的特征统计值,通过人机交互方式反复修改分类结点阈值,对比不同阈值分类结果,不断调整决策树规则来提高分类精度。通过反复实验,生成的决策树分类规则如图5所示。图中, \bar{R} 、 \bar{G} 、 \bar{B} 分别表示影像红、绿、蓝三通道的平均值, M_B 代表亮度均值, l 和 w 代表对象的长度和宽度。

最大似然法是遥感影像分类的经典算法。通过对感兴趣区域的统计和计算,得到各个类别的均值和方差,从而确定一个分类函数,然后将待分类影像中的每一个像元代入各个类别的分类函数,将函数返回值最大的类别作为被扫描像元的归属类别,从而达到分类的效果^[14]。主要步骤如下:

(1) 确定需要分类的地区和使用的波段和特征分类数,检查所用各波段或特征分量是否相互已经位置配准。

(2) 根据已掌握的典型区域的特征情况,在影像上选择训练区。

(3) 计算参数,根据选出的各类训练区的影像数据计算和确定先验概率。

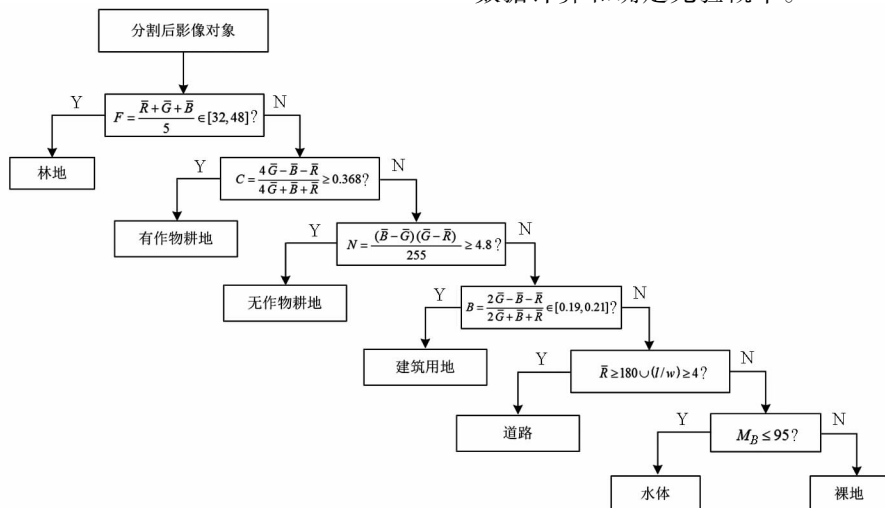


图5 决策树分类规则

Fig. 5 Decision tree classification rules

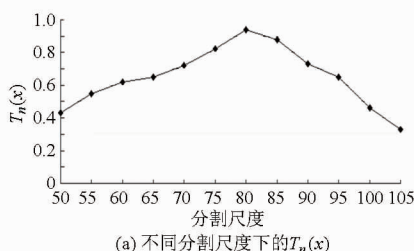
(4) 将训练区以外的影像像元逐个逐类代入公式, 根据每个像元分类数安排计算次数, 最后比较大小, 选择最大值得出类别。

(5) 产生分类图, 精度检验。

3 结果与分析

3.1 水土资源信息分类结果

根据 2.2 节所述原理, 首先进行预分割实验, 将分割结果过于“破碎”或者“淹没”的尺度排除,



因此定义分割尺度在 [50, 105] 内, 在此范围内以 5 为步长逐级增加, 求解每个分割尺度所获得的 $T_n(x)$ 。当 $T_n(x)$ 取得最大值时所对应的 x 就是最优尺度。通过计算知, 当尺度为 80 时 $T_n(x)$ 取得最大值, 即 80 为最优尺度。不同分割尺度下计算出的 $T_n(x)$ 如图 6a 所示, 最优尺度分割结果如图 6b 所示。

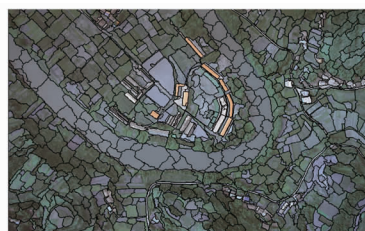


图 6 最优尺度分割结果

Fig. 6 Segmentation result based on optimal scale

据主要选择了边界明显的建设用地、道路和水体。通过计算可知, 由分割质量函数计算出的最优分割尺度 80 对应的 M_{SMI} 值为 2.878, 如图 7 所示, 是不同分割尺度下 M_{SMI} 取得的最小值, 这与通过分割质量函数计算出的最优尺度吻合, 验证了最优分割尺度计算方法的可靠性。

3.2 分类精度评价

通常遥感影像完成分类后精度评价有两种方式, 一种是定性评价, 即通过人眼手工判断地物边界的吻合程度; 一种是定量评价, 该方式是选取可靠的数据作为参考样本, 通过计算正确与错误分类比例, 即总体精度、生产精度、用户精度和 Kappa 系数进行评价^[15]。在参考样本选取上, 由于无人机影像空间分辨率很高, 部分地物可直接通过人工目视解译获取, 因此实验过程中的参考样本采用了实地调研和人工目视解译相结合的方式。共随机选取了实地调研和人工目视解译获取的 174 个参考样本点, 通过将样本点与分类结果进行叠加的方式来判断分类结果的正确或错误。通过统计计算可知, 采用本文方法进行水土资源信息分类的总体精度为 86.78%, Kappa 系数为 0.82; 采用最大似然方法进行水土资源信息分类的总体精度为 77.59%, Kappa 系数为 0.74, 具体结果如表 1 和表 2 所示。实验发现本文方法分类精度明显优于最大似然分类方法。

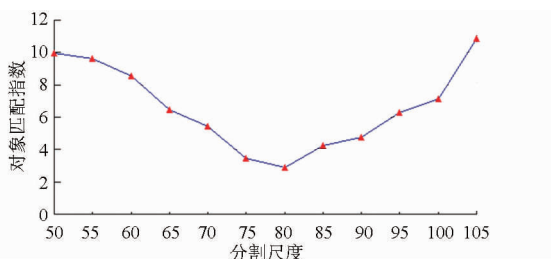


图 7 不同尺度对应的对象匹配指数

Fig. 7 Different scales corresponding to the objects matching index

完成影像分割后即可根据 2.4 节建立的决策树分类规则进行水土资源信息分类, 结果如图 8a 所示, 最大似然法分类结果如图 8b 所示。

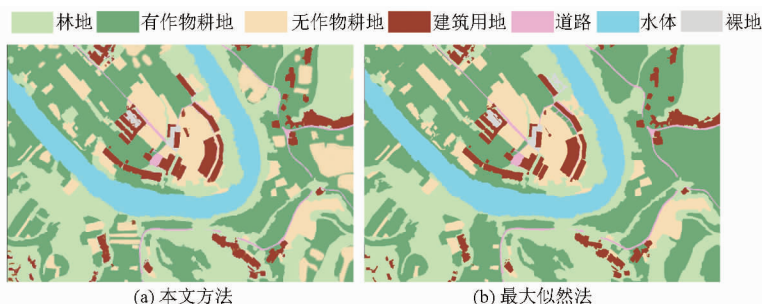


图 8 2 种方法分类结果

Fig. 8 Classification results of two methods

表1 本文方法精度检验矩阵

Tab.1 Precision test matrix of the proposed method

样本	林地	有作物耕地	无作物耕地	道路	建筑用地	裸地	水体
林地	28	4	0	0	0	0	0
有作物耕地	2	34	0	0	0	0	0
无作物耕地	0	2	18	0	0	3	0
道路	0	0	0	16	3	1	0
建筑用地	1	0	0	2	36	2	0
裸地	0	0	3	0	0	13	0
水体	0	0	0	0	0	0	6
生产精度/%	90.32	85.00	85.71	88.89	92.31	68.42	100
用户精度/%	87.50	94.44	78.26	80.00	87.80	81.25	100

表2 最大似然法精度检验矩阵

Tab.2 Precision test matrix of maximum likelihood classification method

样本	林地	有作物耕地	无作物耕地	道路	建筑用地	裸地	水体
林地	25	7	0	0	0	0	0
有作物耕地	5	31	0	0	0	0	0
无作物耕地	1	3	16	0	0	5	0
道路	0	0	0	14	3	2	0
建筑用地	0	0	0	3	32	4	0
裸地	0	0	4	1	0	11	0
水体	0	0	0	0	0	0	6
生产精度/%	80.65	75.61	80.00	77.78	91.43	50.00	100
用户精度/%	78.13	86.11	64.00	73.68	82.05	68.75	100

4 结束语

研究了一种基于最优分割尺度和决策树的无人机高分辨遥感影像水土资源信息分类方法。建立分割质量函数获取最优分割尺度,提出了验证最优分割结果的分割尺度评价模型。将分类结果与经典的

最大似然分类方法进行比较,本文所提方法精度有较显著提升。下一步需要重点解决的问题是在进行分割结果评价时,如何自动判断最大分割对象。本文研究对于高分辨遥感影像农业应用有较大的潜力,为农业信息化中的水土资源信息快速获取提供了新思路。

参 考 文 献

- 1 MA Lei, CHENG Liang, HAN Wenqi, et al. Cultivated land information extraction from high-resolution unmanned aerial vehicle imagery data[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2014,8(1): 083673.
- 2 LIAGHAT S, BALASUNDRAM S K. A review: the role of remote sensing in precision agriculture[J]. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 2010,5(1):50-55.
- 3 史舟,梁宗正,杨媛媛,等. 农业遥感研究现状与展望[J]. 农业机械学报,2015,46(2):247-260.
SHI Zhou, LIANG Zongzheng, YANG Yuanyuan, et al. Status and prospect of agricultural remote sensing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(2):247-260. (in Chinese)
- 4 赵春江. 农业遥感研究与应用进展[J]. 农业机械学报,2014,45(12):277-293.
ZHAO Chunjiang. Advances of research and application in remote sensing for agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(12):277-293. (in Chinese)
- 5 李德仁,童庆禧,李荣兴,等. 高分辨率对地观测的若干前沿科学问题[J]. 中国科学:地球科学,2012,42(6):805-813.
LI Deren, TONG Qingxi, LI Rongxing, et al. Current issues in high-resolution earth observation technology[J]. Science China: Earth Science, 2012,42(6):805-813. (in Chinese)
- 6 LI Huifang, ZHANG Liangpei, SHEN Huanfeng. A perceptually inspired variational method for the uneven intensity correction of remote sensing images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012,50(8):3053-3065.
- 7 周成虎,骆剑承. 高分辨率卫星遥感影像地学计算[M]. 北京:科学出版社,2009.
- 8 刘晓娜,封志明,姜鲁光. 基于决策树分类的橡胶林地遥感识别[J]. 农业工程学报,2013,29(24):163-172.
LIU Xiaona, FENG Zhiming, JIANG Luguang. Application of decision tree classification to rubber plantations extraction with remote sensing[J]. Transactions of the CSAE, 2013,29(24):163-172. (in Chinese)
- 9 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, et al. Applications of unmanned aerial vehicle images on agricultural remote sensing monitoring[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(18): 136 - 145. (in Chinese)
- 10 鲁恒, 李龙国, 贺一楠, 等. 考虑地形特征的无人机影像分区加权平差拼接方法[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 296 - 301.
LU Heng, LI Longguo, HE Yi'nan, et al. Method of UAV image mosaic based on weighted adjustment considering terrain feature [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 296 - 301. (in Chinese)
- 11 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. (in Chinese)
- 12 NEUBERT M, HEROLD H. Assessment of remote sensing image segmentation quality [C] // International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Commission IV, Working Group IV/3, 2008.
- 13 刘勇洪, 牛铮, 王长耀. 基于 MODIS 数据的决策树分类方法研究与应用[J]. 遥感学报, 2005, 9(4): 405 - 412.
LIU Yonghong, NIU Zheng, WANG Changyao. Research and application of the decision tree classification using MODIS data[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(4): 405 - 412. (in Chinese)
- 14 骆剑承, 王钦敏, 马江洪, 等. 遥感图像最大似然分类方法的 EM 改进算法[J]. 测绘学报, 2002, 31(3): 234 - 238.
LUO Jiancheng, WANG Qinmin, MA Jianghong, et al. The EM-based maximum likelihood classifier for remotely sensed data [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2002, 31(3): 234 - 238. (in Chinese)
- 15 FOODY G M. Status of land cover classification accuracy assessment[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1): 185 - 201.
-

(上接第 326 页)

- 18 李莘莘, 陈良富, 陶金花, 等. 基于 HJ-1-CCD 数据的地表反射率反演与验证[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(2): 516 - 520.
LI Shenshen, CHEN Liangfu, TAO Jinhua, et al. Retrieval and validation of the surface reflectance using HJ-1-CCD data[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(2): 516 - 520. (in Chinese)
- 19 张周威, 余涛, 孟庆岩, 等. HJ-1A/B 卫星数据几何校正与辐射校正顺序研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2013, 37(4): 680 - 684.
ZHANG Zhouwei, YU Tao, MENG Qingyan, et al. Research on radiometric and geometric correction order of HJ-1A/B satellite data[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2013, 37(4): 680 - 684. (in Chinese)
- 20 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(4): 327 - 333.
TIAN Qingjiu, MIN Xiangjun. Advances in study on vegetation indices[J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 13(4): 327 - 333. (in Chinese)
- 21 王正兴, 刘闯, HUETE Alfredo. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 979 - 987.
WANG Zhengxing, LIU Chuang, HUETE Alfredo. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 979 - 987. (in Chinese)