

高分辨率影像的橡胶林分布信息提取

杨红卫^{1,2} 童小华¹

1 同济大学测绘与地理信息学院,上海市,200092

2 海南大学信息科学技术学院,海南海口,570228

摘要:为了准确快速地获取高分辨率影像中橡胶林的分布信息,设计了一种基于纹理特征和多光谱特征的信息提取方法。方法选取合适的植被指数,将多光谱和植被指数的影像进行地统计半方差分析,获得最佳纹理提取窗口并实现各种纹理信息的提取,将纹理信息和光谱信息一起作为参考特征构建地物的分类规则并用 C5 决策树分类算法实现。选取某高分辨率遥感影像区域对该方法进行验证,橡胶树林提取的生产者精度为 81.00%,提取用户精度为 82.65%,总精度为 83.50%,Kappa 系数为 0.78。与其他方法分类结果对比表明,本文方法是一种有效的橡胶林提取方法。

关键词:高分辨率影像;橡胶林;信息提取;决策树分类

中图法分类号:TP751; P237.3 **文献标志码:**A

随着卫星遥感技术的发展,遥感已成为地物信息获取的一种重要手段。在农林业部门,万幼川等应用几何和图论特征方法对高分辨率影像进行土地利用分类^[1],Johansen K 等利用高分辨率影像进行森林生态系统的分类^[2]。对具有特殊价值的植被遥感应应用研究,在国内仅见韩凝等应用高分辨率影像提取香榧树分布信息^[3],未见有关橡胶林信息提取方面的报道;在国外,Mohd 运用 Landsat TM 中低分辨率遥感影像进行橡胶林的监测研究^[4],但应用高分辨率遥感影像进行橡胶林信息的提取未见报道。本文以高分辨率遥感影像为研究对象,选取海南省某农场橡胶种植区为研究区,对具有特殊工业应用价值的橡胶林进行分布信息的提取。

传统常规的遥感植被分类方法可分为两类:基于单纯光谱信息分类和基于综合多种条件信息的分类。前者应用面比较有限,且处理结果中往往含有大量椒盐噪声,不能区分“同物异谱”及“同谱异物”现象^[5],弊端明显。后者综合考虑了除光谱以外的其他因素(如统计特征、形状、大小、纹理和相邻关系等)后进行分类,提高了分类精度,但运用难度增大。本文选取第二种分类方式,重点将纹理信息作为条件进行橡胶林分布特征的提取。

1 研究区概况及数据

1.1 研究区概况

本文研究区位于北纬 19°0′52.06″~19°2′5.82″,东经 108°4′24.63″~108°7′32.45″之间,覆盖海南省东方市广坝乡广坝农场,农场以种植橡胶为主,还有灌草、乔木、水体、农户居民地和裸地等典型地物。

1.2 数据

1.2.1 遥感数据

文中使用数据是 2010 年 5 月 4 日获取的 IKONOS 卫星高分辨率影像,全色影像的分辨率为 1 m,多光谱的分辨率为 4 m,本文的试验区域是在该影像中裁剪的一幅实地约 10 km×8 km 的矩形区域。

1.2.2 实测数据

本文于 2011 年 5 月对试验区域进行采集筛选获得了 238 个有效点数据,由于数据采集时间和影像获取时间刚好相差 1 a,相同季节的时间段,区域中农林作物的生长状况具有相似性,因此可认为该试验数据具有代表性和正确性。

收稿日期:2013-01-22

项目来源:海南省自然科学基金资助项目(807019);海南大学 2010 青年基金资助项目(gnjj1024)。

第一作者:杨红卫,副教授,博士生,主要研究方向为遥感图像处理与应用。E-mail: 40143704@qq.com

2 研究方法

本文研究方法分为以下几步:①对获取的原始影像进行几何纠正和影像融合预处理;②根据实际情况裁剪影像获得有代表性的研究区域;③对研究区影像选取合适植被指数;④地统计半方差分析各个波段的光谱值及各种植被指数得到灰度共生矩阵,运用灰度共生矩阵获取橡胶林纹理计算最佳窗口,然后计算橡胶林的纹理特征;⑤综合所有特征进行分类规则的设计,采用决策树算法 C5 实现研究区地物的分类,检验分类结果和获取分类精度;⑥应用其他分类方法进行本区地物的分类,将分类结果和本文方法结果进行简单的比较分析。

2.1 数据预处理及研究区影像裁剪

原始数据的预处理过程为:①以海南省 1:1000 数字地形图为基准,在原始影像中均匀选择 24 个控制点,在保证总误差不大于 1 个像元的条件下,使用二阶双线性内插方法进行几何纠正;②对原始影像进行 HSV 变换,实现全色波段和彩色波段地物光谱的融合。处理结果表明:经过融合后的影像分辨率达到 1 m,地物信息保留较好。原始影像所涵盖的区域较大,对影像进行裁剪获得具有代表性的区域。

2.2 植被指数选取

植被指数是指通过数学的方法构造影像光谱波段值之间的各种比值而获取的新信息,这些信息在原始波段中并不存在,构建植被指数可以获得有利于地物分类的特征,使分类算法更加准确。在研究实践中,许多较为实用的植被指数已被构建出来^[6-7]。本文研究中,以下三种植被指数能较为有效地区分地物^[3]。

式(1)、式(2)、式(3)分别为归一化植被指、土壤调节植被指数和比值植被指数的计算公式:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - R) / (\text{NIR} + R) \quad (1)$$

$$\text{SAVI} = (\text{NIR} - R)(1 + L) / (\text{NIR} + R + L) \quad (2)$$

$$\text{RVI} = \text{NIR} / R \quad (3)$$

式中,NIR 是近红外波段光谱值;R 是红色波段光谱值。

2.3 影像纹理计算

影像纹理通过物体表面同质属性的分布及和周围区域的联系来体现,反映了影像的一种重要属性^[8]。在众多纹理提取方法中,基于灰度共生矩阵的纹理提取方法是目前应用较多、效果较好

的经典统计分类方法^[9]。地物纹理可通过灰度共生矩阵求解,这些规则反过来亦可识别和确认某种地物。橡胶林多为人工种植,在空间上具有一定的纹理特征。

纹理提取时必须先获取提取窗口,传统做法多采用对影像光谱进行地统计半方差分析,以获得提取对象的可分离性并得到灰度共生矩阵,进而获取提取窗口的大小尺寸。半方差函数可表示为:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

式中, h 是滞后距离; N 是统计数据个数; $Z(x)$ 是位置为 x 处的灰度值^[10]。半方差函数图的基台值(Sill)表示植被反射率的变异性,反映了植被的空间复杂程度。变程值表示影像中各个像素值间存在相关性的最大空间距离,可通过半方差函数的求解得到。在获得变程值的同时,也得到了计算影像纹理的最佳窗口^[11-13]。

运用灰度共生矩阵进行遥感影像纹理的提取,对比度、熵、逆差矩和相关性的统计量的效果较好^[14],分别表示如下^[8]:

$$f_{\text{con}} = \sum_{n=0}^{N-1} n^2 \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ |i-j|=n}}^N p(i, j) \right\} \quad (5)$$

$$f_{\text{en}} = - \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} p(i, j) \lg(p(i, j)) \quad (6)$$

$$f_{\text{hom}} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} p(i, j) / [1 + (i - j)^2] \quad (7)$$

$$f_{\text{cor}} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (i \cdot j \cdot p(i, j) - u_x u_y) / \sigma_x \sigma_y \quad (8)$$

式中, u_x 、 u_y 分别为 p_x 和 p_y 的均值; σ_x 、 σ_y 分别为 p_x 和 p_y 的标准差^[8]。

2.4 分类决策树设计

基于决策树的遥感影像分类方法是一种相对较好的方法,能较为有效地区分影像中的不同地物^[15]。C5 算法是决策树分类方法的一种,是基于 C4.5 发展而来,正确性和效率都有明显的提高。决策树分类的思想如下^[16]:假设有集合样本 S ,目标变量 C 有 k 个分类, $f_q(C_i, S)$ 表示 S 中属于 C_i 类的样本数, $|S|$ 表示样本集合 S 的样本数,则集合 S 的信息熵定义为:

$$\text{Inf}(S) = - \sum_{i=1}^k ((f_q(C_i, S) / |S|) \times \log_2(f_q(C_i, S) / |S|)) \quad (9)$$

如果某属性变量 T 对 S 有 n 个分类,则引入属性变量 T 后的条件熵定义为:

$$CInfo(T) = - \sum_{i=1}^n ((|T_i| / |T|) \times \ln f(T_i)) \quad (10)$$

属性变量 T 带来的信息增益为:

$$Gain(T) = Info(s) - CInfo(T) \quad (11)$$

由此可得信息增益比为:

$$Gainrto(T) = \frac{Gain(T)}{CInfo(T)} \quad (12)$$

在决策树的分类中,将 $Gainrto(T)$ 属性 T 中的最大值作为条件进行分类。

3 结果与分析

3.1 地物纹理计算窗口获取及纹理特征提取

对试验区不同地物进行地统计半方差分析,首先对 8 个方向近邻关系分别计算,根据生成结果选择上、下、左、右 4 个方向作为代表性方向,纹理计算方向和选择方向相吻合。试验中首先选择 ENVI5.0 所提供的最大空间滞后距离进行试验

(ENVI 软件为 200 pixel),结果发现:① 所有地物均可以进行半方差函数计算,光谱及植被指数有红 (RED)、绿 (GREEN)、蓝 (BLUE)、近红外 (NIR)、归一化植被指数 (NDVI)、比率植被指数 (RVI) 和土壤调节植被指数 (SAVI);② 在本研究区进行半方差函数分析的空间滞后距离取 30 pixel 即可,超过 30 pixel 后对纹理分析窗口大小选择没有影响。再次选择最大空间滞后距离为 30 pixel,对所有光谱及植被指数进行地统计半方差分析,计算可得如图 1 所示的结果。重点选择两种适合纹理计算分析的地物橡胶林和灌草林进行试验,表 1 为试验中两种地物的空间变程值及纹理分析最佳窗口大小的选择。当获取计算纹理的合适窗口后,即可计算相应的纹理特征。本文规定纹理特征的表达方法为:特征名(光谱名或植被指数名,窗口大小),例如 3×3 纹理窗口下红光波段的中值记为:Mean(RED,3)。本研究中共计算了 336 种纹理特征供研究者选择使用,为分类决策树的构建提供了必要依据。

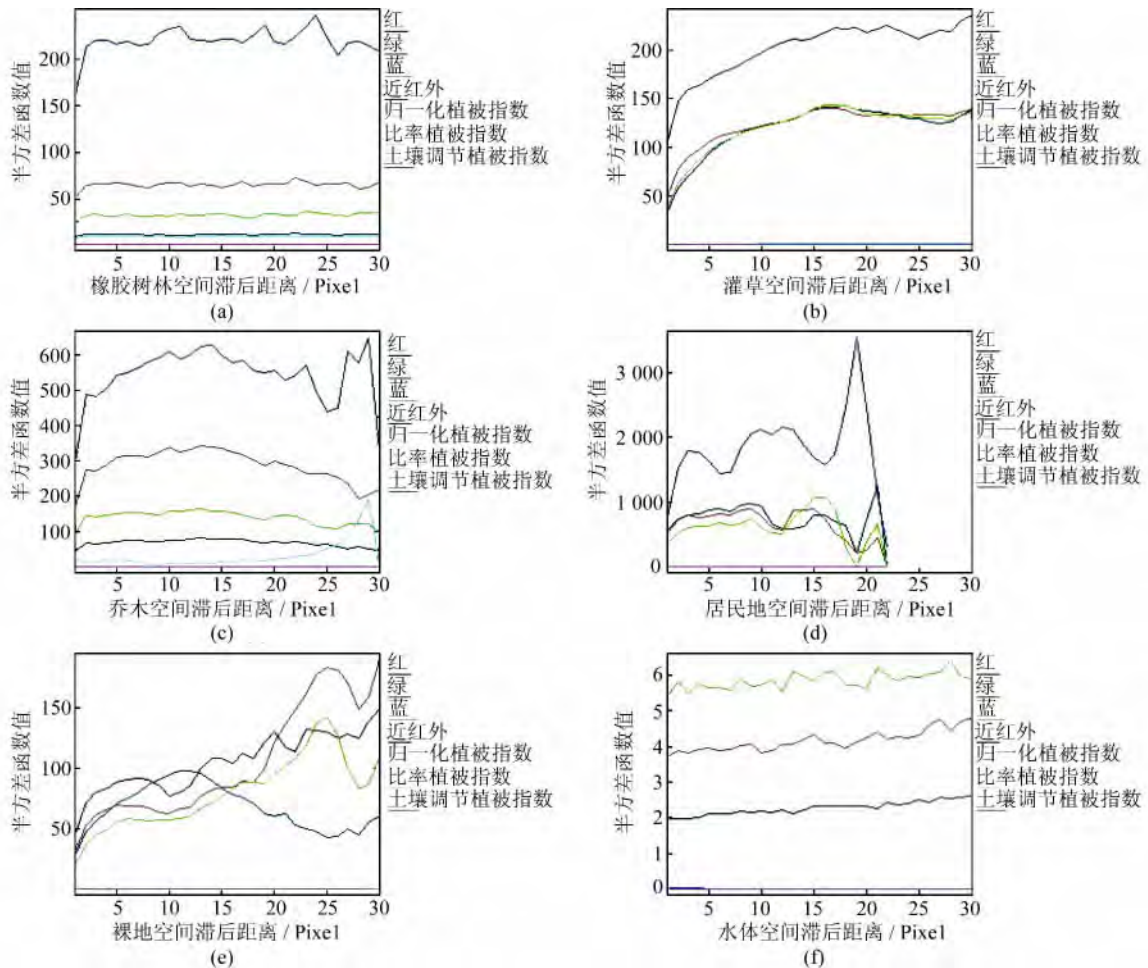


图 1 多光谱波段及植被指数波段的半方差函数图

Fig.1 Semi-variograms of Multispectral and Vegetable Index

表1 橡胶树林和灌草乔木林的空间变程值及最佳纹理分析窗口

Tab. 1 Range and the Most Textural Analysis Window of Rubber Trees and Mix Forest

	光谱 (RED)	光谱 (GREEN)	光谱 (BLUE)	光谱 (NIR)	归一化植被指 数(NDVI)	比率植被指 数(RVI)	土壤调节植被 指数(SAVI)
橡胶树林							
基台值	3.114 0	6.652 7	5.307 7	9.659 9	3.000 0	3.889 4	9.000 2
纹理计算窗口	3×3	7×7	5×5	9×9	3×3	3×3	9×9
灌草乔木							
基台值	15.138 9	19.133 2	14.133 9	17.222 2	15.001 0	16.145 3	17.001 1
纹理计算窗口	15×15	19×19	15×15	17×17	15×15	17×17	17×17

3.2 分类规则设计

试验发现,研究区部分地物不能找出较好的区分标志,如居民、裸地、灌草和乔木等。若将二者各自进一步细分会导致研究区橡胶林提取精度的降低。因此,在保证橡胶林提取精度最优的条件下,先将居民区和裸地,灌草和乔木分别合并类别,合并后的地物可分为水体、裸地,居民地、灌草、乔木和橡胶林。文献[17-18]细致地阐述了居民地和水体信息的提取过程,且提取效果较好,在此不再讨论,重点阐述橡胶林和灌草或乔木两种易混淆地物的信息提取过程。编写分类规则和设置各项参数,用人眼识别对比分类效果获取了研究区橡胶林和灌草或乔木的C5分类规则(见表2),表2中的各项参数取值是通过人工反复试验后得到的较优经验值。从表2中可以看出,仅通过常见光谱特征对橡胶林和灌草或乔木两种地物之间进行区分是很难做到的,必须综合应用纹理特征才能给以区分。

表2 基于C5的分类规则

Tab. 2 Classification Arithmetic Based on C5

地物类型	规则
橡胶树林	if (Mean(SAVI, 3) > 16.629 629 and NDVI < -0.507 987 or RVI > 0.158 824 and Mean(BLUE, 5) ≤ 8.359 99) or (Mean(SAVI, 3) ≤ 16.629 629 and NDVI ≥ -0.507 987 and RVI ≤ 0.158 824 and Mean(BLUE, 5) > 8.359 99 and Contrast(SAVI, 9) ≤ 4.718 274 6 and Variance(SAVI, 9) ≤ 1.497 33) then class="橡胶树林"
灌草或乔木	if (RVI > 0.333 3 and RVI < 0.326 271 or RVI > 1.377 622 and Mean(BLUE, 5) > 8.359 99 and Contrast(SAVI, 9) > 4.718 274 6 or Variance(SAVI, 9) > 1.497 33) then class="灌草或乔木"

3.3 分类结果及精度评价

在ENVI5.0软件中用C5决策树分类规则进行地物分类,然后对分类结果图进行图像开操作得到图2(a)所示结果。随机抽取400个样点进行目视解译,结合GPS实地调查的地物信息,误差矩阵和精度报告见表3。

3.4 其他分类方法的结果及浅析

常见的基于高分辨率遥感影像的分类方法有

面向对象方法、人工神经网络方法、支持向量机方法和核函数方法。本文运用相同数据对上述各方法进行试验(核函数方法和支持向量机方法常被组成核函数支持向量机方法进行使用^[19],因此将二者组成核函数支持向量机方法进行试验),上述方法均在ENVI5.0软件中进行试验,试验结果见图2(b)~2(d)。表4为各分类方法的分类情况统计表(重点列举橡胶林和灌草或乔木两种易混淆地物分类情况),计算分类精度见表5。

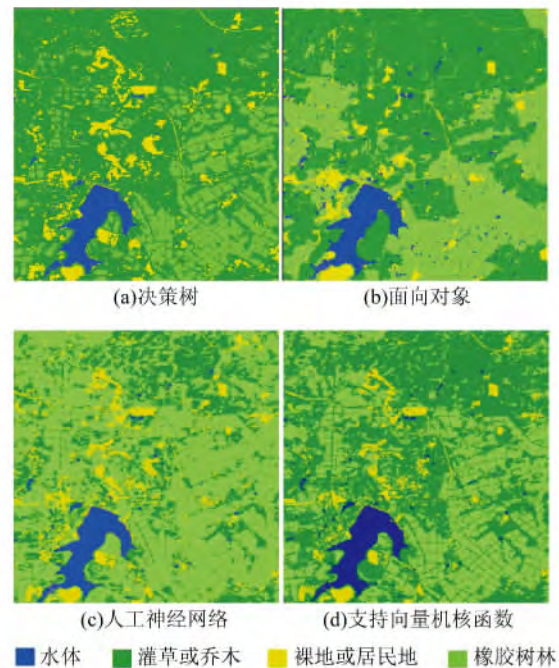


图2 各种方法的分类结果

Fig. 2 Classification Results of Different Methods

从表5可以看出,在橡胶林用户精度上依次是决策树、面向对象、核函数向量机和人工神经网络方法;在橡胶林生产精度上依次是人工神经网络、核函数向量机、决策树和面向对象方法。导致这一结果的原因探讨如下:①橡胶林作为人工种植林纹理特征明显,与其他热带植被一样四季常青,叶面光谱有一定的相似性,在设计实现分类方法时,对分类依据的侧重点差异会带来不同的分类精度;同时,地物纹理亦可作为地物边界区分的重要标志,可以有效界定边界,而光谱的相似性会

导致不同热带植被地物边界界定较难;② 决策树方法将空间纹理信息作为橡胶林提取的最主要的依据,光谱作为辅助工具,人工神经网络和核函数向量机方法将光谱特征作为最主要依据,纹理作为辅助依据,最终导致橡胶林和灌草或乔木两种最易混淆的地物生产者精度较高,但用户精度不高,后两种方法误将灌草或乔木归为橡胶林;③ 面向对象方法在橡胶林提取中效果一般,主要是因为高分辨率影像细节信息较为突出,灌草或乔木和橡胶林间在光谱细节上有较多的相似性,将光谱作为主要判断标志而纹理作为辅助判断标志导致了面向对象方法中分割区域大小的选择较难确定;另外其他三种方法采用了监督分类,面向对象方法采用了非监督分类,其分类结果会稍差一些。

表 3 决策树分类结果精度评价

Tab. 3 Accuracy Assessment of Decision Tree Classification

参考图像	被评价的图像					生产者精度/%
	橡胶 树林	灌草或 乔木	裸地或 居民地	水 体	总样 本数	
橡胶树林	81	13	4	2	100	81.00
灌草或乔木	11	82	5	2	100	82.00
裸地或居民地	3	7	85	5	100	85.00
水体	3	4	7	86	100	86.00
总样本数	98	106	101	95	400	-
用户精度/%	82.65	77.36	84.16	90.53	-	-
总精度:(334/400)×100%=83.50%	Kappa=0.78					

表 4 其他分类方法分类情况表

Tab. 4 Classification Statistics of Different Methods

参考图像	被评价的图像					
	面向对象		人工神经网络		核函数支持向量机	
	橡胶 树林	灌草或 乔木	橡胶 树林	灌草或 乔木	橡胶 树林	灌草或 乔木
橡胶树林	62	22	97	3	96	4
灌草或乔木	20	66	43	50	34	61

表 5 不同方法的分类结果比较/%

Tab. 5 Comparison of Different Classification Methods/%

	橡胶林用户精度	橡胶林生产精度
决策树	82.65	81.00
面向对象	74.90	62.00
人工神经网络	68.80	97.00
核函数向量机	73.85	92.00

4 结 语

本文首先通过地统计半方差分析和灰度共生矩阵方法计算出研究区高分遥感影像的纹理信息,然后综合光谱特征、植被指数以及纹理特征后应用 C5 决策树算法实现了地物信息的提取,将

灌草或乔木以及橡胶林的分类结果进行精度计算,得到提取橡胶林的生产者精度为 81.00%,用户精度达到 82.65%,表明应用综合多特征的决策树方法进行橡胶林信息提取是可行的。对同类工作具有一定的借鉴价值。与此同时,灌草和乔木两地物间以及裸地和居民地两地物间的区分是需要进一步研究的难题。

参 考 文 献

- [1] Wan Youchuan, Huang Jun. Influence of Geometric and Graph Theoretical Measures on Land Classification Using High-resolution Remote Sensing Images [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(7): 794-798(万幼川,黄俊.几何和图论特征对高分辨率遥感影像土地利用分类的影响[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2009, 34(7): 794-798)
- [2] Johansen K, Coops N C, Gergel S E, et al. Application of High Spatial Resolution Satellite Imagery for Riparian and Forest Ecosystem Classification [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 110(1):29-44
- [3] Han Ning, Zhang Xiuying, Wang Xiaoming, et al. Identification of Distributional Information Torreyia Grandis Merrlllii Using High Resoution Imagery [J]. *Journal of Zhejiang University(Engineering Science)*, 2010, 44(3): 420-425(韩凝,张秀英,王小明,等.高分辨率影像香榧树分布信息提取[J]. *浙江大学学报:工学版*, 2010, 44(3): 420-425)
- [4] Mohd N S. Applicability of LANDSAT TM Data for Inventorying and Monitoring of Rubber (Hevea Brasiliensis) Plantations in Selangor, Malaysia: Linkages to Policies[D]. Canada: The University of British Columbia, 2003
- [5] Zhou Chenghu, Luo Jiancheng. GeoComputation of High-resolution Satellite Remote Sensing Image [M]. Beijing: Science Press, 2009: 14-15(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: 14-15)
- [6] Zhang Lianpeng, Liu Qinhuo, Wang Degao, et al. The Universal Analysis of Vegetation Indices for Hyperspectral Remote Sensing Data [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2010, 9:1-4(张连蓬,柳钦火,王德高,等.高光谱遥感植被指数的普适性分析[J]. *测绘通报*, 2010, 9:1-4)
- [7] Hu Zhouwei, Li Shanshan, Wang Xiaohuang, et al. Spatial and Temporal Analysis of MODIS Vegetable Index of Different Grassland Styles [J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 304:284-289
- [8] Robert M, Haralick, Shanmugam, et al. Textural

- Features for Image Classification[J]. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 1973, 3(6):610-621
- [9] Liu Li, Kuang Gangyao. Overview of Image Textural Feature Extraction Methods[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2009, 14(4): 622-635(刘丽, 匡纲要. 图像纹理特征提取方法综述[J]. *中国图象图形学报*, 2009, 14(4): 622-635)
- [10] Mei Zhixiong, Ouyang Jun, Hu Weiping. Spatial Statistics and GIS Application Study in Spatial Variability Analysis of Houses' Prices: a Case Study of Dongguan[C]. SPIE, Guazhou, 2008
- [11] Treitz P, Howarth P. High Spatial Resolution Remote Sensing Data for Forest Ecosystem Classification: an Examination of Spatial Scale[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 72(3): 268-289
- [12] Coburn C A. A Multi Scale Texture Analysis Procedure for Improved Forest Stand Classification[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(20):4 287-4 308
- [13] Treitz P. Variogram Analysis of High Spatial Resolution Remote Sensing Data: an Examination of Boreal Forest Ecosystems[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(18): 3 895-3 900
- [14] Zhong Hua, Yang Xiaoming, Jiao Licheng. Texture Classification Based on Multiresolution Co-occurrence Matrix[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2011, 48(11): 1 991-1 999(钟桦, 杨晓鸣, 焦李成. 基于多分辨共生矩阵的纹理图像分类[J]. *计算机研究与发展*, 2011, 48(11): 1 991-1 999)
- [15] Qi Hongchao, Qi Yuan, Xu Zhen. The Study of the Northwest Arid Zone Land-cover Classification Based on C5.0 Decision Tree Algorithm at Wuwei City, Gansu Province[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(5):648-653(齐红超, 祁元, 徐真. 基于 C5.0 决策树算法的西北干旱区土地覆盖分类研究——以甘肃省武威市为例[J]. *遥感技术与应用*, 2009, 24(5):648-653)
- [16] Pan Chen, Lin Yi, Chen Yingying. Decision Tree Classification of Remote Sensing Images Based on Multi-feature[J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2010, 21(5): 731-736(潘琛, 林怡, 陈映鹰. 基于多特征的遥感影像决策树分类[J]. *光电子·激光*, 2010, 21(5): 731-736)
- [17] Li Hui, Dai Zhenyong, Zhang Lihua, et al. Mathematical Morphology Based Drainage Line Extraction from Remote Sensing Image[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(8): 956-959(李辉, 代侦勇, 张利华, 等. 利用数学形态学的遥感影像水系提取方法[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2011, 36(8): 956-959)
- [18] Su Junying, Cao Hui, Zhang Jianqing. Semi-automatic Extraction Technique of Residential Area in High Resolution Remote Sensing Image[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, 29(9): 791-795(苏俊英, 曹辉, 张剑清. 高分辨率遥感影像上居民地半自动提取研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2004, 29(9): 791-795)
- [19] Yang Zhongjin. Kernel-based Support Vector Machines[J]. *Computer Engineering and Application*, 2008, 44(33): 1-6(杨钟瑾. 核函数支持向量机[J]. *计算机工程与应用*, 2008, 44(33): 1-6)

Distribution Information Extraction of Rubber Woods Using Remote Sensing Images with High Resolution

YANG Hongwei^{1,2} TONG Xiaohua¹

(1 Department of Surveying and Geo-Informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

(2 College of Information Science, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: In order to accurately and quickly extract the information of rubber woods, a new information extraction method of rubber woods distribution was designed based on textural features and multi-spectrum features of remote sensing images with high resolution, and the detail process as follow: firstly, choose suitable vegetable index; secondly, acquire the best texture extraction window through semi-variance statistical analysis of the images of vegetable index and multi-spectrum and extract texture information of remote sensing images; at last, build new classification rules based on texture information and spectrum information of remote sensing image with high resolution and realize the new

(下转第 421 页)

- 同济大学学报, 2004, 32(5): 660-663)
- [9] Chen Yi, Lu Jue, Zheng Bo. Research on Close-range Photogrammetry with Big Rotation Angle[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2008, 4(11): 458-463, 468(陈义, 陆钰, 郑波. 近景摄影测量中大角度问题的探讨[J]. 测绘学报, 2008, 4(11): 458-463, 468)
- [10] Chen Yi, Shen Yunzhong, Liu Dajie. A Simplified Model of Three Dimensional-datum Transformation Adapted to Big Rotation Angle[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, 29(12): 1 101-1 105(陈义, 沈云中, 刘大杰. 适用于大旋转角的三维基准转换的一种简便模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(12): 1 101-1 105)
- [11] Lu Jue, Chen Yi, Zheng Bo. Research on Depend-ent Relative Orientation in Multi-baseline Close-range Photogrammetry[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2010, 38(3): 442-447 (陆钰, 陈义, 郑波. 多基线近景摄影测量连续像对相对定向[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(3): 442-447)
- [12] Li Deren, Zheng Zhaobao. Analytical Photogrammetry[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1992(李德仁, 郑肇葆. 解析摄影测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1992)
- [13] Mei Wensheng, Xu Fang, Chen Xiao. Design and Establish of Panoramic Indoor 3D Control Field[J]. *Journal of Geomatics*, 2011, 36(6): 39-42, 45(梅文胜, 徐芳, 陈潇. 室内全景三维控制场设计与建立[J]. 测绘信息与工程, 2011, 36(6): 39-42, 45)

The Calibration Model of Linear Array Panoramic Cameras

XU Fang¹ MEI Wensheng¹ ZHANG Li¹

¹ School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Linear array panoramic cameras have enabled the acquisition of 360° panoramic scenes with linear CCD turning. It has used fewer camera stations and avoided image mosaicing in close-range photogrammetry. We developed a sensor and adjustment model function for linear array panoramic cameras. We demonstrate the models for simulated data and indoor panoramic 3D control field data. These experiments show that the parameters of model are logical and that these parameters accurately describe the relationship of the internal structure in the linear array panoramic camera. The model is a practical calibration model for linear array panoramic cameras.

Key words: linear array panoramic camera; calibration model; eccentricity; inclination and tilt of the linear array

First author: XU Fang, PhD, associated professor, specialized in the close-range photogrammetry and remote sensing image interpretation. E-mail: f xu@sgg.whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41071292.

(上接第 416 页)

method by using the arithmetic of C5.0 decision tree. The new method was putted in practiced in remote sensing images with high resolution of GuangBa farm DongFang city, HaiNan Province. The results showed that the producer's accuracy, user's accuracy and total accuracy of rubber woods is are 81.00%, 82.65%, and 83.50% respectively, and the kappa coefficient is 0.78. The results that comparing with other classification methods indicated the method is valid for rubber woods identification.

Key words: remote sensing images with high resolution; rubber woods; information extraction; classification by decision tree

First Author: YANG Hongwei, associated professor, PhD candidate. He is interested in remote sensing imagery processing and application. E-mail: 40143704@qq.com

Foundation item: The Natural Science Fund of Hainan Province, No. 807019; The Youth Fund of Hainan University 2010, No. gnjj1024.