

基于面向对象方法的 GF-2 影像桉树林信息提取

梁文海¹, 刘吉凯², 张 伟², 李新伟², 钟仕全³

(1. 广西林业勘测设计院, 广西 南宁 530000; 2. 安徽科技学院, 安徽 凤阳 233100; 3. 广西壮族自治区气象减灾研究所/国家卫星气象中心遥感应用试验基地, 广西 南宁 530022)

摘要: 高分 2 号(GF-2)是中国研制的空间分辨率最高的民用遥感卫星。为探讨 GF-2 遥感数据对林业资源信息的监测能力, 以广西横县平朗乡桉树 *Eucalyptus* 林为研究对象, 基于面向对象的图像分析方法, 通过对影像多种特征的分析与提取, 建立桉树林信息提取的知识规则, 实现桉树林空间分布的准确提取, 最终桉树林提取的用户精度和生产者精度分别达 81.4%和 86.4%。结果表明: 利用 GF-2 数据基于面向对象思想的桉树林提取精度能够满足林业部门对于快速准确提取林业资源信息的生产需求。GF-2 卫星因其高时空分辨率的特性可作为林业资源覆盖变化多尺度高精度检测的重要数据源。图 5 表 4 参 25

关键词: 森林测计学; GF-2 影像; 桉树; 面向对象

中图分类号: S758.5; TP75

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)-04-0721-09

Extracting *Eucalyptus* information using GF-2 images based on an object-oriented method

LIANG Wenhai¹, LIU Jikai², ZHANG Wei², LI Xinwei², ZHONG Shiquan³

(1. Guangxi Forest Inventory and Planning Institute, Nanning 530000, Guangxi, China; 2. University of Science and Technology of Anhui, Fengyang 233100, Anhui, China; 3. Guangxi Institute of Meteorology, Nanning/Remote Sensing Application and Test Base of National Satellite Meteorology Centre, Nanning 530022, Guangxi, China)

Abstract: Remote sensing data from the Chinese GF-2 satellite, the highest spatial resolution satellite for civilian satellites so far, was used to explore satellite performance for forest resource information monitoring. This research took Pinglang County as the study area, analyzed characteristics of different objects, such as spectrum, normalized difference vegetation index (NDVI), and texture; extracted *Eucalyptus* data based on the method of object-oriented classification using GF-2 satellite data; and then evaluated classification accuracy (Confusion Matrix). Results showed that the object-oriented classification method was an effective technical method for extraction of *Eucalyptus* information with classification precision reaching 81.4% (producer's accuracy) and 86.4% (user's accuracy). Thus, GF-2 satellite data with high temporal and spatial resolution could provide a potential data source for remote sensing monitoring of forest resource information. [Ch, 5 fig. 4 tab. 25 ref.]

Key words: forest measurement; GF-2 images; *Eucalyptus*; object-oriented

林业资源提取及其动态变化检测不仅对掌握林业资源消长、分布规律和更新林业资源数据库意义重大, 而且对控制林业资源消耗、林业发展和决策至关重要。传统的林业资源调查主要以地面采集为主, 工作量大、效率低、周期长, 难以满足“年度出数”的林业资源监测需求^[1]。遥感技术因其宏观性、动态性、重复访问等特点, 被广泛应用于林业资源监测中^[2-3]。利用遥感数据进行林业资源监测, 是林业

收稿日期: 2016-07-11; 修回日期: 2016-11-06

基金项目: 安徽科技学院引进人才基金资助项目(ZRC2014396, ZHYJ201601, ZHYJ201603); 安徽高校自然科学研究计划资助项目(KJ2016A173, KJ2016A168)

作者简介: 梁文海, 从事遥感图像处理与应用研究。E-mail: lwxlwhlwy@163.com。通信作者: 钟仕全, 高级工程师, 从事卫星遥感应用研究。E-mail: liujkahstu@163.com

遥感领域的研究热点之一。周蔚^[4]利用 2 期陆地卫星专题制图仪(TM)遥感影像,结合森林小班数据更新方法,通过对比最大似然法和支持向量机算法实现森林资源的动态监测与估计。黄春波等^[5]利用 2001–2012 年每年生长季节(5–10 月)的 Landsat TM 影像,根据森林植被的统计学特征,通过融合归一化差值植被指数(NDVI)构建综合森林特征指数,并以时间序列的综合森林特征指数实现森林变化的动态监测。伍静^[6]利用 TM 数据对广西高峰林场的速生桉林地遥感分类技术展开相关探讨,运用多种分类法:一般监督分类法、神经网络分类法、决策树分类法、混合像元线性分解法实施分类试验,发现地形因子参与分类的决策树分类法对速生桉分类效果最好。随着遥感系统图像分辨率的提高,高分辨率影像因其丰富的地物信息与纯净的光谱特征等优势,被越来越多地应用到林业资源监测中^[7–8]。传统基于像素的分类方法被广泛应用于林业资源监测,但主要是应用于中低分辨率影像,对高分辨率影像而言存在许多问题,如分类精度低,椒盐噪声明显等。面向对象的分类方法在 20 世纪 70 年代被应用于遥感影像的解译中,可以克服此类缺点,且有较好的视觉效果,是当前林业资源高分辨率研究的主流方法^[2,8–9]。付强等^[10]利用国产天绘 1 号和资源 1 号遥感影像,采用面向对象多尺度分割和基于特征值阈值的方法提取采伐迹地,进而采取分类后比较法检测森林覆盖变化。周小成等^[11]选用 Rapideye 高分辨率卫星遥感影像,提出了面向小班对象的森林覆盖变化信息半自动遥感提取方法。代华兵^[12]深入探讨了 SPOT5 遥感数据预处理、森林遥感分类、小班蓄积量遥感估测的方法,为 SPOT5 遥感数据在森林资源监测中的应用提供可行的科学依据和技术方法支持。综上所述,对林业资源监测大多采用国外高分辨率数据,国产高分数据的应用少见于报道^[10,13–15]。2013 年,中国高分辨率对地观测系统卫星——“高分 1 号”(GF-1)卫星成功发射,开启了中国高分辨率对地观测的新篇章;2014 年,“高分 2 号”(GF-2)卫星发射成功,其搭载 2 台高分辨率 1 m 全色、4 m 多光谱相机,标志着中国遥感卫星进入了亚米级的“高分时代”。查阅文献发现,尚无利用 GF 数据进行林业动态变化检测的研究。为此,本研究选用国产 GF-2 高分辨率数据,利用面向对象的分析方法研究 GF-2 数据对桉树信息的监测能力,可为国产高分辨率数据应用于林业资源监测奠定基础,同时也为国产高分辨率数据对地遥感监测提供适当的参考。

1 研究区与数据源

1.1 研究区概况

研究区位于广西东南部的平朗乡(图 1),地处 $22^{\circ}08' \sim 23^{\circ}30' \text{ N}$, $108^{\circ}48' \sim 109^{\circ}37' \text{ E}$,地形四周高、中间低,形成宽谷平原和盆地,地貌以丘陵和平原为主。平朗乡位于北回归线以南,属于亚热带季风气候区,水热资源丰富,树种繁多,林木生长迅速,是发展林业的重要基地。全乡总面积为 129.5 km^2 ,山林面积 $8\,000.0 \text{ hm}^2$,占研究区总面积的 61.7%,多为松、桉、杉、枫等。平朗乡是广西桉树产业的优势产区与特色产区,且该乡地块破碎,作为研究区有典型性与示范性。

1.2 数据源

遥感数据为 GF-2 卫星数据。GF-2 是中国迄今为止研制的空间分辨率最高的民用遥感卫星,全色空

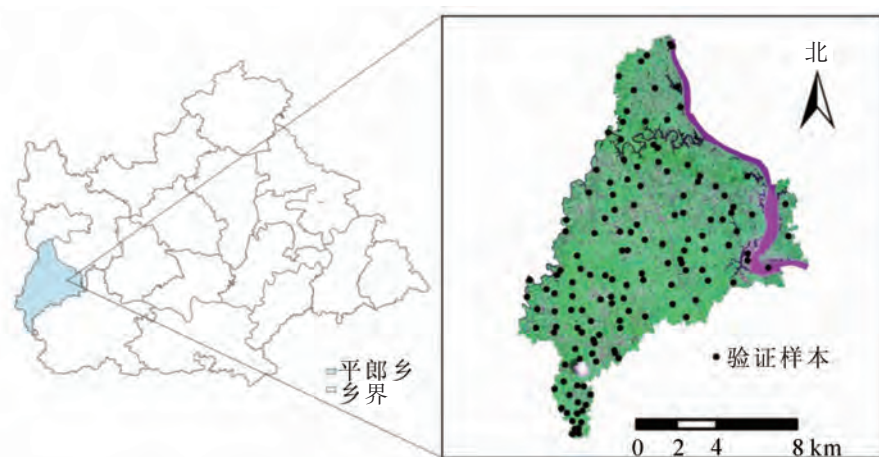


图 1 研究区位置与样本分布

Figure 1 Location of the study area and sampling points distribution in the study area

间分辨率为 1 m, 光谱范围为 0.45~0.90 μm ; 多光谱空间分辨率为 4 m, 包括蓝、绿、红、近红外 4 个波段, 光谱范围分别为 0.45~0.52 μm , 0.52~0.59 μm , 0.63~0.69 μm , 0.77~0.89 μm ^[16]。数据来源于中国资源卫星应用中心(<http://www.cresda.com/CN/>), 级别为 L1A, 时相为 2015 年 10 月 22 日。辅助数据有 2013 年底的森林资源调查成果数据, 航空正射影像(0.5 m 分辨率), 1:30 万数字高程模型(DEM)数据, 野外实测的桉树提取验证样本空间分布数据(图 1)。

2 面向对象的桉树信息提取

传统的基于像素的分析方法, 如监督分类和非监督分类, 难以利用高分遥感数据丰富的纹理、空间、功能特征等, 无法表达对目标之间、目标与环境之间的整体结构信息, 应用于高分数据时, 其结果难以令人满意。面向对象的分析方法能够弥补基于像素的分析方法的局限性, 从而实现更高级的图像理解和分析, 对高分数据的解译效果要优于基于像素的分析效果^[8,17-19], 因此本研究利用国产 GF-2 高分辨率数据, 基于面向对象的分析方法建立桉树提取的知识规则, 从而实现桉树空间分布的准确提取。

面向对象的桉树信息提取是在遥感(RS)与地理信息系统(GIS)平台下, 先对 GF-2 数据预处理以提高图像分析的精度, 再通过多尺度分割建立目标对象, 分析目标对象的光谱、纹理特征创建桉树信息提取的规则, 最后根据规则提取桉树信息、后处理及精度评价, 具体技术路线见图 2。

2.1 数据预处理

为了消除遥感数据的误差, 提高解译的精度, 需要对数据进行预处理。本研究所涉及的 GF-2 卫星数据的预处理主要包括正射校正、融合与镶嵌以及影像裁剪。
①影像校正。以横县航片(0.5 m 分辨率)为基准影像, 结合数字高程模型(DEM)数据, 先对 GF-2 全色影像正射校正, 校正精度控制在 1 个像元以内; 待全色影像校正完成后, 以全色为参考影像, 结合 DEM 数据, 再对同景多光谱影像正射校正, 校正精度控制在 0.5 个像元内。
②影像融合。采用主成分变换法(principal component)对全色影像与多光谱影像进行融合。待融合完成后, 对融合影像进行匀色处理。
③影像裁剪。为减少多余数据, 加快提取效率, 以平朗乡乡界为边界, 对影像进行裁剪, 得到研究区的 GF-2 影像(图 1)。

2.2 主成分分析

面向对象的方法较基于像素的方法优

势之一是在于能充分利用对象的多种特征, 如光谱特征、纹理特征、几何以及相邻对象之间的关联特征等, 以实现图像的精确分类^[14]。其中纹理特征能够兼顾宏观特性和微观细节, 且具有较强的稳定性, 是面向对象的图像分析中最常见的特征之一^[20-21]。

GF-2 影像波段间相关性高, 冗余信息多, 且每个波段都可生成 8 组纹理特征信息, 为获取信息量大、相互独立的纹理特征需降维处理。主成分分析法(PCA)是尽可能在不丢失原始波段信息情况下, 以正交线性变换的方法将主要波段信息压缩到少数几个波段上, 以减少数据量, 综合波段主要成分, 增强图像信息^[6]。利用专业遥感软件进行主成分变换去除影像的冗余信息, 并利用变换后的第 1 波段 PCA1 (特征值 8 481.79, 信息比 97.86%)替代原始数据提取纹理特征。

2.3 影像多尺度分割

影像分割是面向对象分析方法的关键步骤, 目的是将影像分割成同质的影像对象, 将属于桉树林的

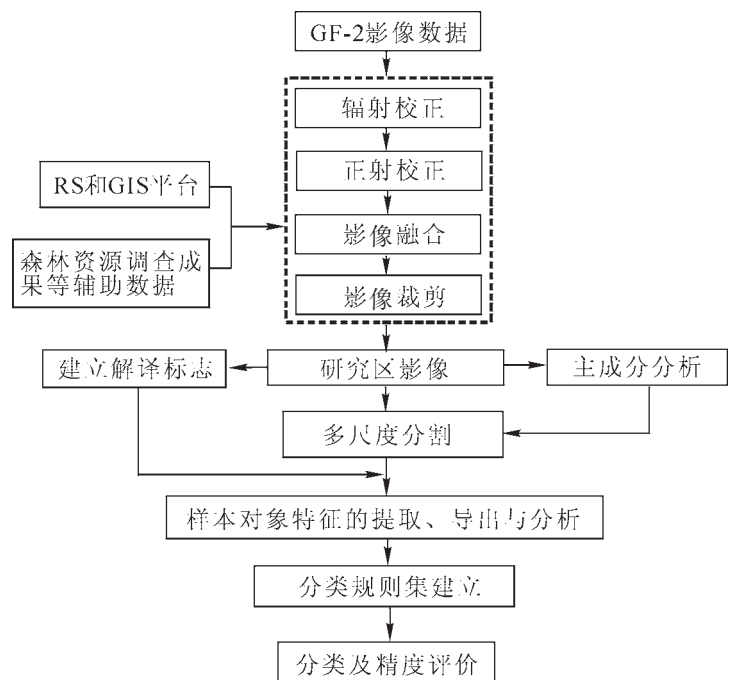


图 2 面向对象的桉树信息提取流程图

Figure 2 Flow chart of eucalyptus extraction based on object-oriented method

对象分割出来,进行基于知识规则的桉树林类型提取。分割算法选择多尺度分割(multi-resolution segmentation),关键是选择合适的尺度参数,得到近似桉树林冠层真实轮廓的对象。若尺度参数过小,影像分割破碎,目标地类被分为多个对象,不利于提取,如图3A;若尺度参数过大,影像分割得不够完整,单个对象内包含多个目标地类,不能准确提取,如图3C和图3D。本研究兼顾多尺度分割线与目标地类分界线吻合,且分割对象不致于太破碎的原则,经多次试验,确定参与分割波段为蓝、绿、红、近红4个波段,分割尺度参数为50,形状指数为0.1,致紧度为0.5,其他默认。多尺度分割的结果如图3B,分割对象近似于地类真实轮廓,为准确提取桉树林信息提供了基础。

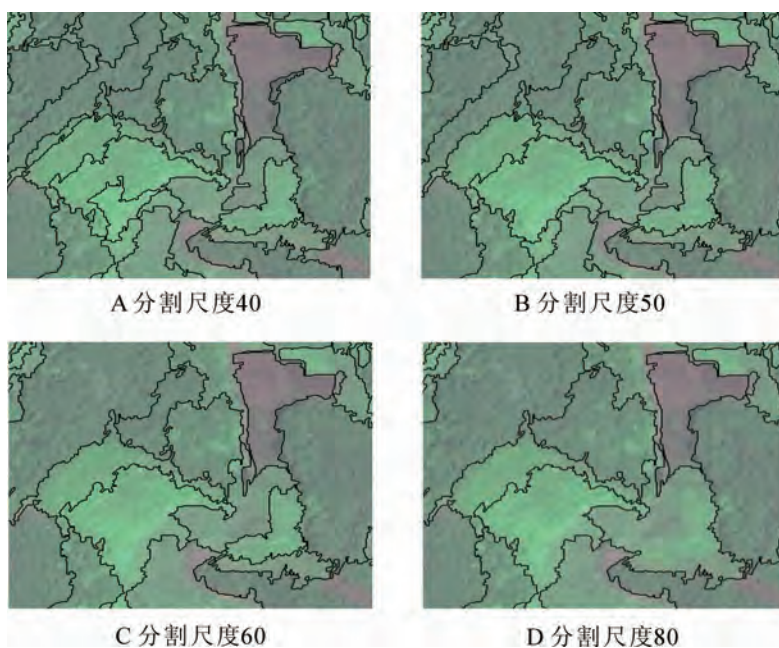


图3 不同分割尺度效果图

Figure 3 Image segmentation comparison with different scale parameters

2.4 特征分析与特征筛选

在特征分析前,要先建立目标地类的遥感解译标志,以便于后续分析。根据遥感影像特征(光谱、纹理、形状等),通过叠加森林资源调查成果专题数据,同时参考其他辅助数据确定未变化地类的解译标志,对于变化地类则通过影像特征与野外实地调查数据建立解译标志。综合考虑 GF-2 影像的可解译程度与地块的破碎程度,将平朗乡地类初分为耕地、居住区、水体、宜林荒山、有林地与裸地等6类,其中有林地可细分为阔叶林、针叶林与桉树林。由于裸地易与居住区中的镇(村)混淆,将两者合并,统称为亮地表,最终地类分为耕地、亮地表、水体、宜林荒山与有林地等5类。面向对象的图像分析方法不仅可以利用高空间分辨率遥感影像上地物的光谱特征,还可以充分利用影像丰富的纹理、形状、结构及空间关系等相关信息^[22],从而能够深入分析和挖掘影像的细节信息。相比较基于像元的影像局部分析法,面向对象的分类方法从整体上把握对象的特征信息,使得其总体分类精度提高。

影像对象的特征是面向对象的图像分析的依据。利用影像对象的各种特征信息识别地物,特征不是越多越好,过多的特征反而会影响信息处理的效率,因此,首先需要对对象特征集中分析,筛选参与分类的特征,然后采取基于知识规则的方法建立提取桉树林信息的规则集。本研究根据5种地类的解译标志,选择均匀分布于研究区的地类样本,统计分析其光谱特征和纹理特征。光谱特征包括归一化差值植被指数(NDVI),均值(mean),亮度(brightness),最大差值(max.diff),纹理特征包括熵(entropy),对比度(contrast),均值(mean),角二矩矩阵(angular second moment),标准差(standard deviation),异质性(dissimilarity),同质性(homogeneity),相关性(correlation)。经分析筛选后,建立基于知识规则的提取模型。

2.4.1 光谱特征分析与筛选 光谱特征是影像上地类光谱的反映,与分割对象的灰度值有关,是图像分析最重要的因子之一。由表1可知:水体在近红外波段反射率(nir)不超过78(最小值为76.91),而其他

地类的反射率均大于 78(最大值为 79.93)，利用近红外波段反射率可剔除掉水体信息。归一化差值植被指数(NDVI)是植被监测中最常用的指数之一，亮地表的 NDVI 最大值为 0.12，除水体外其他地类的 NDVI 最小值为 0.18(宜林荒山的最小值为 0.18)，利用 NDVI 可以进一步剔除掉亮地表与少量荒山林地信息。此步骤通过对 nir 和 NDVI 设置合适的阈值，最大可能地保留了植被信息，保证桉树信息提取的准确性。

表 1 地类光谱特征统计

Table 1 Spectral values of different land cover types

波段		特征值				
		耕地	亮地表	水体	宜林荒山	有林地
蓝	最小值	81.51	84.76	73.49	84.84	78.75
	最大值	94.58	142.22	94.92	91.68	94.36
	均值	87.53	101.32	80.46	88.80	85.43
绿	最小值	79.59	83.29	67.64	84.89	75.61
	最大值	93.79	150.33	105.23	96.33	94.14
	均值	86.72	104.03	80.67	89.33	82.68
红	最小值	63.02	72.14	50.49	66.96	58.59
	最大值	77.53	150.50	103.24	85.17	74.25
	均值	69.13	98.57	66.62	72.06	64.20
近红外	最小值	101.54	79.93	53.48	106.47	91.07
	最大值	143.97	139.55	76.91	139.81	149.17
	均值	123.72	101.05	64.40	123.32	124.96
PCA1	最小值	93.12	92.35	69.43	99.79	86.22
	最大值	117.31	158.16	97.17	114.38	117.79
	均值	105.50	111.86	80.09	107.01	103.23
NDVI	最小值	0.19	-0.13	-0.26	0.18	0.22
	最大值	0.35	0.12	0.10	0.32	0.40
	均值	0.28	0.02	-0.01	0.26	0.32
亮度	最小值	84.09	84.55	64.06	90.51	78.05
	最大值	104.47	147.17	92.37	102.30	104.97
	均值	94.52	103.37	74.45	96.11	92.07
最大差值	最小值	0.38	0.11	0.17	0.35	0.42
	最大值	0.73	0.38	0.51	0.65	0.86
	均值	0.58	0.18	0.30	0.53	0.66

2.4.2 纹理特征分析与筛选 纹理特征描述了各像元之间在空间分布上的局部模式及其排列规则，反映了影像本身的属性^[23]。灰度共生矩阵(GLCM)能反映图像灰度关于纹理方向、相邻间隔等因素，以及纹理间变化幅度的综合信息。不同的地物具有各自独特的纹理特征，可通过纹理特征来提取目标信息，纹理特征常用主成分分析的 PCA1 影像的 8 个纹理量共同表达(表 2)。此步骤是在光谱特征分析与筛选的基础上，通过分析研究区内不同林种的纹理特征，筛选出对象特征间相关系数最小，特征信息量保留最

表 2 地类灰度共生矩阵纹理特征统计

Table 2 Gray level co-occurrence matrix(GLCM) textures of different land cover types

有林地	熵	对比度	均值	角二矩阵	标准差	异质性	同质性	相关性
阔叶林	6.01	22.43	108.91	0.004	6.27	3.58	0.23	0.84
针叶林	5.91	24.97	96.46	0.004	6.01	3.48	0.24	0.82
桉树林	6.36	44.86	104.98	0.003	6.79	5.09	0.17	0.72

多的纹理特征。由表 2 可知: 8 组纹理特征中, 桉树的对比度(contrast)与同质性(homogeneity)均与其他 2 种有林地差异明显, 可作为桉树信息提取的纹理对象特征。进一步分析, 对比度特征, 桉树最小值为 27.54, 针叶林和阔叶林的最大值分别为 27.67 和 27.23; 同质性特征, 桉树最大值为 0.21, 针叶林和阔叶林的最小值分别为 0.20 和 0.17。而其他纹理特征均存在不同程度的值域重叠, 不利于目标地类的提取。因此在光谱特征分析的基础上, 结合对比度与同质性对象特征, 创建桉树信息提取的知识规则。

2.5 桉树林信息提取

根据研究区地物特征分析与筛选的结果, 选择反射率、归一化差值植被指数、对比度和同质性特征作为桉树林信息提取的对象特征, 经过多次试验, 确定对象特征合适的阈值, 创建知识规则, 实现桉树林信息的准确提取。基于面向对象的影像分类方法, 首先对反射率设置阈值区分开水体与非水体, 然后再利用归一化差值植被指数从非水体中提取出林地信息, 最后利用 2 个纹理特征值对林种细分, 最终获得准确的桉树林信息。在分类过程中构建决策树分类树, 在其对应的层次创建相应的分类规则, 具体设置见图 4。

3 结果与分析

3.1 桉树信息提取结果

本研究基于光谱特征与纹理特征通过创建相应的分类知识规则, 提取研究的桉树信息, 得到平朗乡桉树信息的空间分布(图 5)。分类后合并碎小图斑, 局部手动编辑修正, 输出统计 2015 年平朗乡桉树种植面积为 3 750 hm², 主要分布在该乡中南部和东南部, 因为该区域水热条件良好, 地势平坦, 有利于桉树的速生丰产。

3.2 精度分析

根据森林资源调查成果数据与野外实地调查数据, 矢量化出 140 个验证样本(其中桉树林 70 个, 其他 70 个), 均匀分布于研究区。利用验证样本通过混淆矩阵(表 3)的方式评价桉树信息提取的精度: 总体精度为 84.3%, Kappa 系数达到 0.73, 用户精度和生产者精度分别为 81.4%和 86.4%。

文献[5]和[24]的研究区与本研究的研究区具有类似的地形特点, 且采用的方法都是面向对象分类方法, 对桉树林信息分类提取的精度具有可比性(表 4)。由表 4 可知: 文献[25]中桉树林提取的生产者精度和用户精度均低于80%, 分析发现, 文中涉及的对象特征仅为光谱特征, 缺乏纹理特征, 且影像空间分辨率为 5 m。文献[24]中精度高于本文精度, 主要原因是参与分类的对象特征数量多, 但其语义知识规则复杂繁琐, 不利用模型的鲁棒性。

将提取结果与森林资源调查成果数据叠加对比发现, 错分为桉树的图斑主要是马尾松 *Pinus massoniana* 的成林或过熟林。主要是纹理特征差异不明显造成的。一般情况下, 桉树林的纹理较规则、粗糙, 而其他树种人工林纹理细腻, 而马尾松成林或过熟林纹理特征也规则、粗糙, 因而容易混淆。另外桉树幼林也较容易误分为其他地类, 主要是因为桉树幼林的光谱特征与其他植被光谱特征相近, 同时纹理规则却相对细腻, 对象特征

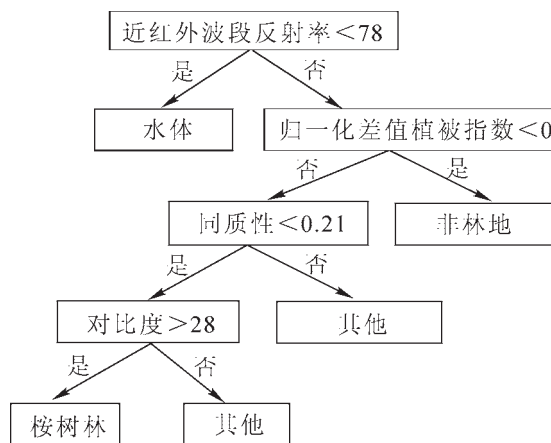


图 4 桉树林信息提取规则

Figure 4 Knowledge rules of eucalyptus extraction



图 5 平朗乡 2015 年桉树空间分布

Figure 5 Spatial distribution of eucalyptus in Pinglang County in 2015

差异不显著。因此，如何通过桉树林与其他有林地影像特征的微小差异，精确地识别出桉树林，以进一步提高桉树林的提取精度还有待研究。由此可见，GF-2 高分数据可作为桉树等速生林识别提取的重要数据源，同时基于面向对象的方法可作为桉树林遥感监测的重要思路。

表 3 桉树林信息提取精度分析

Table 3 Confusion matrix of eucalyptus extraction

实测数据类型	分类数据类型/地块		总计/地块	错分误差/%	用户精度/%
	桉树林	其他地物			
桉树林	57	13	70	18.6	81.4
其他地物	9	61	70	12.9	87.1
总计	66	74	140		
漏分误差/%	13.6	17.6			
生产者精度/%	86.4	82.4			
总精度/%			84.3		
Kappa 系数			0.73		

表 4 桉树林提取精度对比

Table 4 Contrast of eucalyptus extraction

文献来源	提取方法	数据	生产者精度/%	制图精度/%
本研究	面向对象分类	GF-2	86.40	81.40
文献[25]	面向对象分类	RapidEye	78.85	78.85
文献[26]	面向对象分类	RapidEye	89.17	88.83

4 讨论

桉树作为中国南方最重要的经济速生林种之一，栽植、速长和砍伐周期交替频繁，利用遥感影像准确采集桉树林变化信息，在大规模工程化应用中，最基本的要求是简单、实用和精度可靠。由于南方地形复杂，地势破碎，基于像素的图像分析方法难以满足林业部门的实际精度要求，本研究提出的面向对象方法是在林业部门经过长期实践的基础上提出的，操作流程简单实用，且采集结果经过外业应用证明，是比较符合桉树林(变化)信息遥感采集的大规模工程化应用的。

平朗乡地貌以丘陵和平原为主，地块相对破碎，树种繁多，代表了南方大部分桉树林产区的特点，应用本研究的方法，可以确保较高的信息采集精度，可直接应用其他具有类似特点的桉树林产区。但对于地势起伏较大的林区，为确保较高的采集精度，可在本研究方法的基础上，引入地理基础数据，如 DEM 数据，把林区按照坡度分区，分别选择各自分区适宜的对象特征以实现桉树(变化)信息遥感监测的精度。

总之，经过工程化应用后发现，GF-2 卫星数据空间分辨率高，重复获取能力强，可作县域及以上区域尺度下林业资源覆盖变化多尺度高精度检测的重要数据源，基于面向对象的图像分析方法对复杂地形下桉树信息具有较高的遥感监测精度。面向对象思想的核心在于影像分割尺度的设置、对象特征提取与稳定高效规则集模型的建立。在不存在通用分割尺度的前提下，如何设置分割尺度参数，需要研究；如何从众多对象特征中快速准确地筛选信息量大、独立性强的特征，也值得研究；如何建立高效的知识规则模型，既保证合适的分类精度，又兼顾模型的鲁棒性，是面向对象思想推广需要解决的关键问题。

5 结论

本研究利用国产 GF-2 高分辨率数据，基于面向对象的分析方法研究 GF-2 数据对桉树信息的监测能力。以广西平朗乡为例，通过对影像多种特征的分析与提取，建立桉树林信息提取的知识规则，实现了桉树林的准确提取，得到以下结论：①基于面向对象的思想，利用 GF-2 数据，通过建立规则集能准确提取桉树的分布信息，用户精度和生产者精度分别达 81.4%和 86.4%，能够满足林业部门对于快速、准确提取林业资源的生产需求。②GF-2 卫星数据空间分辨率高，重复获取能力强，可作为林业资

源覆盖变化多尺度高精度检测的重要数据源。③尽管基于面向对象思想的方法可实现对桉树林的准确提取,但提取方法复杂,对于大尺度并行处理、规模工程化应用的提取流程和方法体系,还需要进一步探索。

6 参考文献

- [1] 李春干, 梁文海. 面向对象遥感图像森林变化监测的工程化应用方法[J]. 林业资源管理, 2015, **12**(6): 137 – 143.
LI Chungan, LIANG Wenhai. The engineering application of object-based forest change detection using high-resolution remote sensing image [J]. *For Resour Manage*, 2015, **12**(6): 137 – 143.
- [2] 张丽云, 赵天忠, 夏朝宗, 等. 遥感变化检测技术在林业中的应用[J]. 世界林业研究, 2016, **29**(2): 44 – 48.
ZHANG Liyun, ZHAO Tianzhong, XIA Chaozong, *et al.* Application of change detection technologies of remote sensing to forestry [J]. *World For Res*, 2016, **29**(2): 44 – 48.
- [3] 徐菲楠, 祁元, 王建华, 等. 面向对象的黑河下游河岸林植被覆盖信息分类[J]. 遥感技术与应用, 2015, **30**(5): 996 – 1005.
XU Feinan, QI Yuan, WANG Jianhua, *et al.* Riparian forest vegetation coverage information classification based on object-oriented method in Heihe River [J]. *Remote Sens Technol Appl*, 2015, **30**(5): 996 – 1005.
- [4] 周蔚. 基于 TM 的森林资源地类动态估计方法及应用[D]. 南京: 南京林业大学, 2010.
ZHOU Wei. *Estimation Method of Forest Resources Land Type Variations and Its Application Based on TM Images* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2010.
- [5] 黄春波, 佘袁勇, 周志翔, 等. 基于时间序列统计特性的森林变化监测[J]. 遥感学报, 2015, **19**(4): 657 – 668.
HUANG Chunbo, DIAN Yuanyong, ZHOU Zhixiang, *et al.* Forest change detection based on time series images with statistical properties [J]. *J Remote Sens*, 2015, **19**(4): 657 – 668.
- [6] 伍静. 基于 TM 的速生桉遥感分类技术研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014.
WU Jing. *Research on Classification of Fast-Growing Eucalyptus Based on TM by Using Remote Sensing Technology* [D]. Nanning: Guangxi University, 2014.
- [7] 雷光斌, 李爱农, 谭剑波, 等. 基于多源多时相遥感影像的山地森林分类决策树模型研究[J]. 遥感技术与应用, 2016, **31**(1): 31 – 41.
LEI Guangbin, LI Ainong, TAN Jianbo, *et al.* Forest types mapping in mountainous area using multi-source and multi-temporal satellite images and decision tree models [J]. *Remote Sens Technol Appl*, 2016, **31**(1): 31 – 41.
- [8] 郭亚鸽, 于信芳, 江东, 等. 面向对象的森林植被图像识别分类方法[J]. 地球信息科学学报, 2012, **14**(4): 514 – 522.
GUO Yage, YU Xinfang, JIANG Dong, *et al.* Study on forest classification based on object oriented techniques [J]. *J Geo-Inf Sci*, 2012, **14**(4): 514 – 522.
- [9] 王久玲, 黄进良, 王立辉, 等. 面向对象的多时相 HJ 星影像甘蔗识别方法[J]. 农业工程学报, 2014, **30**(11): 145 – 151.
WANG Jiuling, HUANG Jinliang, WANG Lihui, *et al.* Identification of sugarcane based on object-oriented analysis using time-series HJ CCD data [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2014, **30**(11): 145 – 151.
- [10] 付强, 代华兵, 薛晓坡. 高分辨率遥感影像森林覆盖变化检测研究[J]. 林业资源管理, 2013, **10**(5): 76 – 79.
FU Qiang, DAI Huabing, XUE Xiaopo. Forest cover change detection by using high-resolution remote sensing image [J]. *For Resour Manage*, 2013, **10**(5): 76 – 79.
- [11] 周小成, 庄海东, 陈铭潮, 等. 面向小班对象的森林资源变化遥感监测方法: 以福建省厦门市为例[J]. 资源科学, 2013, **35**(8): 1710 – 1718.
ZHOU Xiaocheng, ZHUANG Haidong, CHEN Mingchao, *et al.* A method to extract forest cover change by object-oriented classification [J]. *Resour Sci*, 2013, **35**(8): 1710 – 1718.
- [12] 代华兵. SPOT5 遥感数据在森林资源监测中的应用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2006.
DAI Huabing. *The Application of SPOT5 Remote Sensing Data in Forestry Surveying* [D]. Nanning: Guangxi University, 2006.

- [13] HOU Zhengyang, XU Qing, NUUTINEN T, *et al.* Extraction of remote sensing based forest management units in tropical forests [J]. *Remote Sens Environ*, 2013, **130**: 1 – 10.
- [14] 扈晶晶. 基于 HJ-1 和 ZY-3 遥感图像的农田防护林信息提取研究[D]. 北京：北京林业大学, 2014.
HU Jingjing. *The Farmland Shelterbelts Extraction Based on The HJ-1 and ZY-3 Satellite Remote Sensing Images* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014.
- [15] 祖笑峰, 覃先林, 尹凌宇, 等. 基于高分一号影像光谱指数识别火烧迹地的决策树方法[J]. 林业资源管理, 2015, **8**(4): 73 – 78.
ZU Xiaofeng, QIN Xianlin, YIN Lingyu, *et al.* Decision tree method for burned area identification based on the spectral index of GF-1 WFV image [J]. *For Resour Manage*, 2015, **8**(4): 73 – 78.
- [16] 刘肖姬, 梁树能, 吴小娟, 等. “高分二号” 卫星数据遥感滑坡灾害识别研究：以云南东川为例[J]. 航天返回与遥感, 2015, **36**(4): 93 – 99.
LIU Xiaoji, LIANG Shuneng, WU Xiaojuan, *et al.* Interpretation of landslide in Dongchuan District of Yunnan Province using GF-2 satellite data [J]. *Spacecr Recov Remote Sens*, 2015, **36**(4): 93 – 99.
- [17] 朱俊杰, 范湘涛, 杜小平, 等. 面向对象的高分辨率遥感图像分析[M]. 北京：科学出版社, 2014.
- [18] 胡荣明, 魏曼, 杨成斌, 等. 以 SPOT5 遥感数据为例比较基于像素与面向对象的分类方法[J]. 遥感技术与应用, 2012, **27**(3): 366 – 371.
HU Rongming, WEI Man, YANG Chenbin, *et al.* Talking SPOT5 remote sensing data for example to compare pixel-based and object-oriented classification [J]. *Remote Sens Technol Appl*, 2015, **30**(5): 996 – 1005.
- [19] 牟智慧, 杨广斌. 基于 TM 影像面向对象的桉树信息提取[J]. 林业资源管理, 2014, **4**(2): 119 – 125.
MOU Zhihui, YANG Guangbin. The extraction of *Eucalyptus* information based on TM data using object-oriented method [J]. *For Resour Manage*, 2014, **4**(2): 119 – 125.
- [20] 刘吉凯, 钟仕全, 徐雅, 等. 基于多时相 GF-1 WFV 数据的南方丘陵地区甘蔗种植面积提取[J]. 广东农业科学, 2014(18): 149 – 154.
LIU Jikai, ZHONG Shiquan, XU Ya, *et al.* Sugarcane extraction in the southern hills using multi-temporal GF-1 WFV data [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2014(18): 149 – 154.
- [21] 潘一凡, 张显峰, 于泓峰, 等. 联合快舟一号影像纹理信息的城市土地覆盖分类[J]. 遥感技术与应用, 2016, **31**(1): 194 – 202.
PAN Yifan, ZHANG Xianfeng, YU Hongfeng, *et al.* Land cover classification in Shihezi City by combing the KZ-1 texture and Landsat-8 OLI spectral information [J]. *Remote Sens Technol Appl*, 2016, **31**(1): 194 – 202.
- [22] 白晓燕, 陈晓宏, 王兆礼. 基于面向对象分类的土地利用信息提取及其时空变化研究[J]. 遥感技术与应用, 2015, **30**(4): 798 – 809.
BAI Xiaoyan, CHEN Xiaohong, WANG Zhaoli. A study on land use information extraction based on object-oriented classification technology and the temporal-spatial variation [J]. *Remote Sens Technol Appl*, 2015, **30**(4): 798 – 809.
- [23] 郭海会, 王卷乐, 周玉洁, 等. 面向对象的鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区烧荒地信息提取[J]. 地球信息科学学报, 2015, **16**(3): 499 – 506.
GUO Haihui, WANG Juanle, ZHOU Yujie, *et al.* The moorburn information extraction on Poyang Lake Nanji Wetland Nature Eeserve Area based on the object-oriented classification method [J]. *J Geo-Inf Sci*, 2015, **16**(3): 499 – 506.
- [24] 蔡耀君. 基于面向对象技术的 RapidEye 影像桉树林信息提取研究[D]. 南宁：广西师范学院, 2015.
CAI Yaojun. *Study on Extraction of RapidEye Image of Eucalyptus Forest Information Based on Object Oriented Technology* [D]. Nanning: Guangxi Teachers Education University, 2015.
- [25] 王学成, 杨飞. 基于面向对方分类方法的 Rapideye 桉树提取[J]. 桉树科技, 2014, **31**(3): 10 – 16.
WANG Xuecheng, YANG Fei. Extraction of *Eucalyptus* plantations metrics using Rapideye imagery with object-oriented classification method [J]. *Eucalypt Sci Technol*, 2014, **31**(3): 10 – 16.