

“基于片层 - 面向类”的竹林信息提取算法与应用分析*

余坤勇^{1,2}, 许章华^{1,2}, 刘健^{1,2,3}, 缪丽娟^{1,2}

(1. 福建农林大学 3S 技术应用研究所, 福建 福州 350002;
2. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 3. 三明学院, 福建 三明 365000)

摘要: 随着竹资源经济效益的不断挖掘, 及时、准确地掌握竹林的分布状况与动态信息成为亟须解决的问题, 而传统的实地调查并不能很好地满足该需求。3S 技术的兴起为掌握竹林分布信息提供了新手段, 但受多种因素的制约, 长期以来竹林信息提取效果不佳。该文在前期研究基础上, 进一步以 ALOS 高分辨率遥感影像为数据源, 利用提出的“基于片层 - 面向类”算法提取南方山地丘陵区顺昌县的竹林信息, 以验证该方法的有效性。除利用传统的基于像元的分类方法外, 引入近年来时兴的面向对象法, 以作比较; 同时, 对“非片层区”进行进一步处理, 以提高竹林信息提取的精度。用实测点验证表明: 基于像元与面向对象的竹林信息提取精度分别为 84.42%、86.46%, Kappa 系数分别为 0.677 3、0.723 4; 从目视效果看, 基于像元的分类结果存在椒盐状, 而面向对象的结果图连续性更佳。两种方法结果虽相差不大, 但面向对象方法可能更适用于诸如 ALOS 这样的高分辨率遥感影像。此外, 两种方法共同表明, 利用“基于片层 - 面向类”的信息提取思路, 能有效地提取竹林信息, 并可作为山地丘陵区影像解译的重要技术参考。

关键词: 片层; 面向类; 竹林; ALOS 影像; 面向对象; 顺昌县

中图分类号: S757.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2012) 01-0089-07

Algorithm and Application Analysis of Film-Based & Class-Oriented for Bamboo Forest Information Extraction

YU Kunyong^{1,2}, XU Zhanghua^{1,2}, LIU Jian^{1,2,3}, MIAO Lijuan^{1,2}

(1. Institute of Geomatics Application, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;
2. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;
3. Sanming University, Sanming 365000, China)

Abstract: As the continued excavation for economic benefits of bamboo resources, it has been a problem which is urgent need to solve to know the distribution and dynamic information of bamboo forest timely and accurately. However, the traditional field survey cannot meet this demand. The development of Geomatics technology has provided new approaches to seize the bamboo forest distribution information, but restricted by many factors, the extraction of bamboo information is not effective for quite a long time. On the basis of former studies, the paper took the high-resolution of ALOS image as the data source and focuses on bamboo forest information extraction in Shunchang County, which is hilly area in Southern China, with the algorithm of Film-based & Class-oriented which has been put forward by us, in order to test the effectiveness of the method. In addition to using the traditional classification method of pixel-based, it introduced the object-oriented method that has been fashionable in recent years, in order to compare them. What's more, it processed the non-film area further for higher bamboo forest information extraction accura-

* 收稿日期: 2011-04-06

基金项目: 福建省自然科学基金“基于 RS 技术竹资源专题信息提取技术研究”(2008J0117); 国家农业 948 项目“竹林资源动态监测技术引进”(2006425)。

作者简介: 余坤勇 (1980 年生), 男, 讲师, 博士研究生; 通讯作者: 刘健; E-mail: fjliujian@126.com

cies. Verifying with the surveying points showed that the extraction accuracies with pixel-based and object-oriented were 84.42% and 86.46% respectively with Kappa of 0.6773 and 0.7234. Four results could be indicated. Firstly, both these two methods showed that the algorithm of Film-based & Class-oriented was well suitable for the bamboo forest information extraction, and could supply a significant technical reference to the image interpretation of hilly area. Secondly, from the accuracy, the method of object-oriented was a little better than the pixel-based one. Nevertheless, from the visual effect of view, there were spiced salt shapes in the figure of pixel-based, while that of object-oriented had better continuity. Although the results of these two methods were little different, the object-oriented one may be more suitable for the high-resolution images such as ALOS image. Thirdly, it is hard to interpret and extract the bamboo forest information with the help of spectral features from remote sensed images single, so we have to bring in the texture information to raise the extraction accuracy. In addition to these, the terrain factors including elevation, slope and aspect are needed to regard carefully. We could infer that the bamboo forest information extraction accuracy will be raised more if the terrain combination conditions were taken to account.

Key words: film; class-oriented; bamboo forest; ALOS image; object-oriented; Shunchang County

我国是竹林分布最广的国家,竹因其枝杆挺拔修长、四季青翠、凌霜傲雪,倍受炎黄子孙的喜爱。古今文人墨客,嗜竹咏竹者众多。竹具有多种用途,可用于制筒、作筏、建筑、乐器等各个方面。随着科技水平和加工工艺的提高,竹的功能还在不断地扩展与深化。由于经济效益显著,近年来林业部门、企业和林农经营竹林的积极性高涨,在福建、浙江、湖南等地已经兴起了竹林的产业化经营,高效、集约的竹产业链正逐步形成。因而,及时掌握竹林的分布状况成为不得不解决的基础问题。传统上,竹林的分布信息由实地调查实现(如一类和二类调查),该方法为我们了解林业资源状况,从而有效地保护与利用它们提供了可靠的材料支撑,是我国林业可持续发展的重要推动力。然而,该方法耗时、费力、成本高与调查周期长、时效性差等明显缺陷也已成为亟待解决的问题。3S技术的发展为资源调查提供了新动力,其在林业调查与监测中的应用日益广泛,技术也不断成熟^[1-7]。竹林的遥感影像特征与马尾松等典型树种较为相似,加之山地丘陵区显著的地形因子的干扰,提取难度较大。笔者在开展南方山地丘陵区竹林监测研究的过程中,积累了一些经验,提出了“基于片层一面向类”的信息提取算法,实例证明,利用该方法在TM影像上提取竹资源的有效性可达84%以上^[8]。本文在前期研究的基础上,以2008年福建省顺昌县ALOS遥感影像为数据源,利用“基于片层一面向类”算法开展竹林信息提取工作,进一步验证其有效性。同时,作两点改进:一是除利用基于像元的监督分类外,补充近年

来在遥感领域崭露头角的面对象的信息提取思维,以作比较;二是增加对“非片层区”的处理,以进一步提高竹林提取的精度。

1 研究区竹林生境分析

研究区顺昌县位于福建省西北部,武夷山脉南麓,闽江上游金溪、富屯溪交汇处,土地面积1985 km²,经纬度为117°30′-118°14′E,26°39′-27°12′N。境内以山地丘陵地貌为主,属中亚热带海洋性季风气候,年均温19℃,年均降雨2051 mm;气候、土壤得天独厚,是林木生长繁衍的绝佳地区,森林覆盖率82.8%,绿化程度95.1%,是我国南方重点林区,享有“中国竹子之乡”“中国杉木之乡”“中国竹荪之乡”“中国航天育种高科技应用农业示范基地”等美誉。

顺昌县竹林资源丰富,据2003年小班调查数据显示,顺昌县共有竹林37828 hm²,其中毛竹林37278 hm²,占竹林总面积的98.5%强,而其他竹种虽涵盖种类众多,有苦竹、刚竹、南平绿竹、罗汉竹、四方竹等,但面积甚小,遂通称“杂竹”。可见,顺昌县在开展竹林经营及发展竹林产业时,应着重考虑毛竹林的生长特性。作为一种多年生的高大乔木,毛竹林广泛分布于中亚热带,其适宜于气候温暖、土壤深厚、肥沃和排水良好的环境;在气温变幅小,降水分配均匀,海拔800 m以下的丘陵和低山地区生长最好。顺昌县的降水、气温、土壤以及地形地貌条件恰好满足毛竹林的生境需求。由于竹林尤其是毛竹林具有较显著的生态幅,故为利用遥感与地理信息开展大区域的监测提供了理论

支撑,也为竹林信息提取算法的构建与应用创造了有利条件。

2 资料收集与影像预处理

收集的资料主要有:研究区 2008 年 ALOS 多光谱影像 3 景(分辨率 10 m)、全色波段影像 5 景(分辨率 2.5 m),行政区划边界图、2007 年林业小班基本图、福建省 1:10 000 地形图及 2008 年实地获取的竹林(主要是毛竹)、杉木、马尾松、阔叶树及各种混交林等典型森林类型的 GPS 坐标与利用 ASD 光谱测定仪测得的光谱数据。

ALOS 卫星是日本宇航研究开发机构(JAXA)于 2006 年 1 月 24 日成功发射的新一代陆地观测卫星,载有三个传感器,分别是全色遥感立体测绘仪(PRISM)、先进可见光与近红外辐射计-2(AVNIR-2)和相控阵型 L 波段合成孔径雷达(PALSAR)。ALOS 是典型的光学遥感卫星,为太阳同步近极地轨道,PRISM 传感器能获取 2.5 m 空间分辨率的全色影像,AVNIR-2 传感器则能获取 10 m 空间分辨率的多光谱影像^[9]。研究所收集的 8 景影像便来源于这两个传感器。对遥感影像的预处理包括几何校正、配准、直方图匹配、镶嵌、裁剪等,其中校正和配准误差均控制在 0.3 个像元以内。为提高影像的可判读性,采用主成分变换法将 ALOS 多光谱与全色影像进行融合,使其既具有多光谱特征,又具有较高的空间分辨率。影像中左上角有部分云层,其他区域可视效果较好(图 1)。

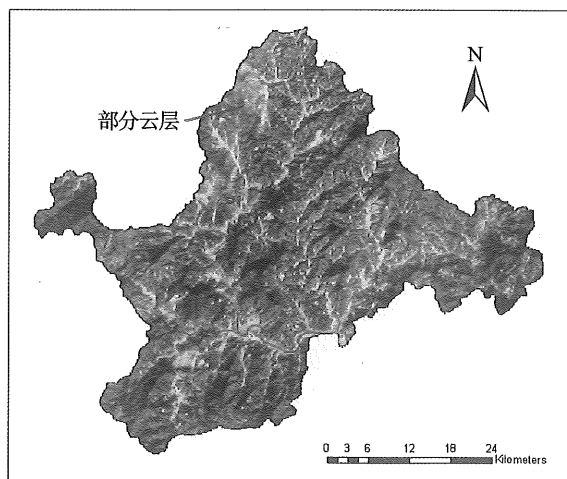


图 1 顺昌县 2008 年 ALOS 影像 (ALOS432)

Fig. 1 ALOS image of Shunchang County in 2008 (ALOS432)

3 “基于片层-面向类”的竹林信息提取

3.1 “基于片层-面向类”的竹林信息提取算法概述

将野外实测的毛竹、杉木、马尾松、阔叶树、竹针混交、竹阔混交、杉阔混交等森林类型的光谱数据,绘制成光谱曲线图(图 2),可知各森林类型的光谱反射率曲线形状相似,在 520~600 nm 之间都有一个反射小峰,是由各树种的叶绿素引起的;在 720 nm 处反射率急剧增加上升,这是因为叶子的细胞壁和细胞间隙折射率不同,导致多重反射引起。在 520~600 nm 之间,杉木的反射率明显偏高,杉阔混交林的反射率偏低,这两种森林类型易于与其他类型区分开;在 720~900 nm 之间,杉木反射率最大,阔叶树反射率最小,各森林类型之间的反射率差异较大,相对较易区分。总体上看,毛竹的反射率在 720~900 nm 处最小,与其他森林类型有一定的可分性;而在 400~720 nm 处时,与其他森林类型的反射率相互交错,不利于解译。由此可见,单纯基于光谱特征的地物识别可利用的波段特征较少,信息提取过程中必然存在较大的干扰。前人研究也表明,地物分布多具有极强的非线性特征,空间上分布也很复杂,光利用遥感影像光谱信息难以很好地区分地物^[10]。纹理是一种反映一个区域中像素灰度级的空间分布属性,表现为图像灰度在空间上的变化和重复或图像中反复出现的局部模式(纹理单元)及其排列规则^[8,11]。利用纹理信息提取图像中的地物对象具有较好的应用效果^[12-14]。李春干等^[15]利用光谱和纹理信息构建了专家知识系统对 SPOT5 图像进行森林分类,并探讨了历史调查数据在该模式中的贡献率,指出历史数据对竹林、八角玉桂、灌木林等的分类精度影响

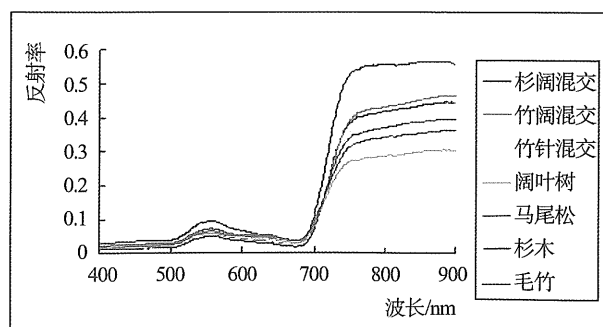


图 2 顺昌县各典型森林类型光谱曲线图

Fig. 2 Spectral curves of typical forest types in Shunchang County

较大, 主要是由于这几个类别的光谱和纹理信息本身存在较大的重叠部分, 难以分离。诸多理论与实践成果均表明, 竹林信息的有效提取需要充分利用遥感影像的光谱与纹理等特征, 通过构造算法实现其更加有效的提取。这是笔者提出“基于片层一面向类”的竹林信息提取算法的依据与源泉。

“片层”定义为边缘围绕的连成一片的统计上均匀的区域, 而分片所形成的不同区域可以说是空间上连接在一起的像元, 即将光谱值或像元灰度值相似的像元分割出来, 形成单独的层。“基于片层一面向类”的信息提取算法, 是在运用光谱分析技术实现“片层”分割的基础上, 对该“片层”进行纹理信息提取, 用纹理信息识别光谱特征无法有效同谱异物的地物信息, 实现竹林信息的有效提取^[8]。其流程如图 3 所示。

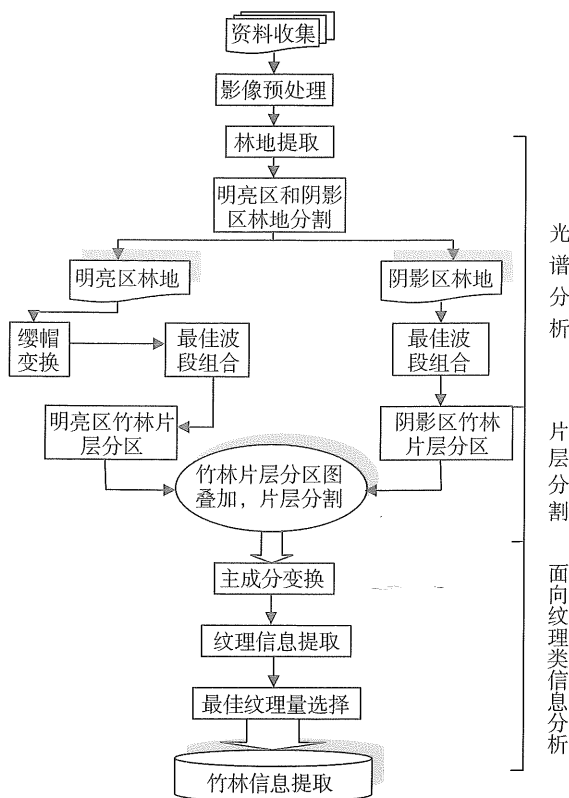


图 3 “基于片层 - 面向类”的竹林信息提取算法流程
Fig. 3 Algorithm flowchart of bamboo forest information extraction with Film-based & Class-oriented

3.2 竹林信息提取算法应用

3.2.1 林地专题信息提取 影像中包含林地、耕地、园地、居民地、交通用地、水体、未利用地等多个土地利用类型的信息, 为排除其他类型的干扰, 须分割出林地的影像。林地专题信息提取的方法较为丰富, 有归一化差值植被指数 (NDVI) 法、

神经网络法、面向对象法等^[8,16-17]。研究利用 ERDAS 遥感处理软件求得 NDVI ($-1 \leq NDVI \leq 1$), 设置 $NDVI > 0.25$, 较好地提取出林地信息, 并分割出林地所对应的 ALOS 影像。

3.2.2 基于光谱的竹林片层分割

1) 明亮区和阴影区林地分割。

受海拔、坡向、坡度等地形因子及地物本身立体性的影响, 同类地物在遥感影像上的表征可能相差较大, 而不同地物在影像上的表征则可能较为类似, 这种“同物异谱”“异物同谱”现象的普遍存在要求我们在进行影像解译时需要综合考虑地形因子的影响。顺昌县多为山地丘陵地形, 研究对利用 ASD 光谱测定仪在不同的地形条件下实测的竹林、杉木、马尾松、阔叶树等典型植被的光谱数据进行分析, 亦验证了上述规律。鉴于此, 经反复尝试, 最终设置 ALOS 影像近红外波段的阈值为 74 (DN 值), 较好地将明亮区和阴影区的林地分割开来, 以作分别处理。

2) 明亮区竹林片层分区。

经实地调查, 明亮区竹林分布面积较阴影区大得多, 这与竹喜阳的生物学特性密切相关, 故明亮区竹林信息提取的有效性是本研究成败的关键。为增强不同植被的影像特征差异, 研究对图像进行缨帽变换, 将原始图像数据轴进行旋转, 从而优化图像数据显示效果^[18]; 对缨帽变换后的图像进行最佳波段选择, 采用最佳指数法 (OIF) 辅以目视效果对比, 最终确定 TC123 的组合效果最佳。在此基础上, 利用 ERDAS 的最大似然法对 TC123 组合图进行监督分类, 得到明亮区竹林的分布图。将此结果与小班基本图进行对照, 发现该分布图与实际情况还有所差距, 说明单纯利用光谱信息难以有效地将竹林与杉木、马尾松、阔叶林等主要植被区分开来, 需要引入其他特征量予以进一步划分。“基于片层一面向类”的竹林信息提取算法将本步骤获得明亮区竹林分布图的过程称作“明亮区片层分区”。片层分区时应尽量做到: 假设分区图的总面积为 S , 其中划分正确的竹林面积为 S_1 , 不正确的面积为 S_2 , 而竹林的实际面积为 S' ; 需要满足 ① $S \in [1.5S', 2S']$, ② $S_1 \gg S_2$, ③ $S_1 \in [0.9S', S']$, 意即允许竹林在一定范围内多提取, 而需要严格控制漏提的竹林面积。这就要求在选取分类模板的时候, 可适当减少非竹林的样本数, 且选取样本毋须太过严格。

3) 阴影区竹林片层分区。

阴影区的影像面积较之于明亮区小得多, 且竹

林在该区域的分布面积也较小,故阴影区竹林片层的分区可相对简化。计算阴影区 ALOS 影像 4 个波段的标准差与相关系数,获得各种组合方式的 OIF 指数值并予以排序,最终选定 ALOS124 为最佳组合方式。同样参照上述片层分区应注意的问题,利用最大似然法实现阴影区竹林片层的分区。

4) 竹林片层分割。

将明亮区竹林片层分区图与阴影区竹林分区图叠加后,对 ALOS 影像进行掩膜,从而分割出片层分区图所对应的影像,在此称其为“竹林片层”,这是面向类的信息提取的直接数据;而其他影像区域则命名为“非片层区”。

3.2.3 面向类的竹林信息提取

1) 主成分变换。

ALOS 影像含 4 个波段,ENVI 遥感处理软件的灰度共生矩阵提供了 8 个纹理量,32 维的数据不利于信息提取工作的有效开展,故研究首先利用主成分变换 (PCA) 对 ALOS 影像进行降维处理。第一、二、三、四主成分的贡献率依次为:99.25%、0.62%、0.12%、0.01%。

2) 基于灰度共生矩阵的纹理信息提取。

因第一主成分的贡献率高达 99.25%,基本上可代表原图像的信息,故研究仅抽取该主成分进行纹理信息提取。灰度共生矩阵 (GLCM) 是纹理分析的方法之一,它提供了影像中像元与像元、像元与整体影像间的空间关系,可从多个侧面描述影像的纹理特征^[19]。ENVI 中提供的纹理量有:均值、方差、协同性、对比度、相异性、熵、角二阶矩、相关性。在进行纹理信息提取前,需要先确定窗口大小和步长两个重要参数。经不同窗口大小和步长的测试,选定窗口大小为 5×5、步长为 (1, 1)。

3) 最佳纹理量选择。

纹理信息提取后得到一幅 8 维纹理图,为提高面向类的竹林信息提取效率,选择最佳的纹理量组合。在此,除利用上述 OIF 指数法外,引入香农信息熵、相关系数两个指标加以分析。香农信息熵可表征一幅图像信息量的多少^[20],而利用相关系数进行分析,可有效地剔除冗余信息,既能保证质量,又能减少工作量。因所使用的 ALOS 影像数据稳定性相对较差,相关性纹理出现了较多的异常值,无法用于计算,故予以剔除。这样综合分析剩余 7 个纹理量的香农信息熵、相关系数及相应组合的 OIF 指数,最终确定均值、方差、对比度为最佳纹理量组合 (图 4)。

4) 面向类的竹林信息提取。

观察最佳纹理量组合图可以发现,图中主要表征为红色与蓝黑两种颜色,结合林业小班基本图和实测样点,可知红色调区主要为竹林,而其他树种则主要显示为蓝黑色调,且二者的影像连续性有较大差异,可见经竹林片层分割后引入“纹理类”可十分有效地增强竹林信息的可判读性。为检验“基于片层-面向类”竹林信息提取算法的有效性,分别采用传统的基于像元与新兴的面向对象的分类思维进行竹林信息提取。

传统的基于像元统计特征的监督分类方法以具体像元为处理对象,主要考虑像元的邻近关系和统计特征,分类规则的建立主要依据像元的统计规律^[21]。本研究基于像元的竹林信息提取在 ERDAS 中实现,结果见图 5。

基于像元的分类结果往往由于个别像元的不确定性而呈椒盐状,而图像分析时非常重要的语义信息不通过单个像元表达,面向对象法将图像分割成具有一定意义的均质对象,用一组特征来描述对象,最后建立对象与类结构之间的关系和差别规则,将对象分配到相应的类中,所以理论上面向对象法更适于影像信息的挖掘^[21-23]。研究利用 ENVI Zoom 的特征提取模块,通过影像分割、合并分块、精炼分割、属性计算等步骤实现目标物体的寻找,尔后定义竹林与非竹林的训练区,执行 K 临近法实现面向对象的竹林信息提取 (图 6)。

3.2.4 非片层区竹林信息的进一步提取

虽然非片层区中竹林面积所占比重很小,但为了进一步提高精度,在完成“基于片层-面向类”的竹林信息提取的基础上,利用 ERDAS 对非片层区也进行监督分类,从而获得该区域的竹林信息,并将结果图分别与图 5、6 进行叠加,得到进一步提取后的竹林信息图 (图 7、8)。

3.3 “基于片层-面向类”的竹林信息提取结果分析

为验证分类有效性,选取 2008 年实测的样点 539 个,其中 205 个为竹林,剩余 334 个为非竹林,利用精度评估法对竹林信息提取结果进行评价 (表 1)。

从表 1 可以看出,对非片层区竹林信息进一步提取下,面向对象的分类总精度与 Kappa 略高于传统的基于像元的分类,且两种方法下的竹林信息提取精度均达到 84% 以上,满足林业生产实践需求。对比图 5 与图 6、图 7 与图 8 可以发现,基于像元的分类结果图呈一定程度的椒盐状,其影像连续性与目视效果亦较面向对象有所欠缺。两种方法结果

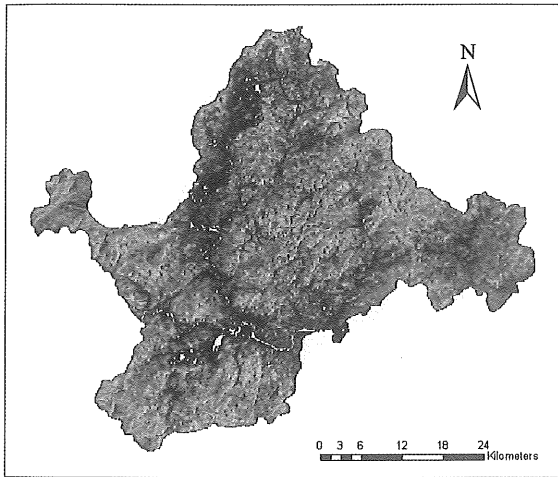


图 4 最佳纹理量组合图 (均值、方差、对比度)
Fig. 4 The best textures combination (mean, variance, contrast)

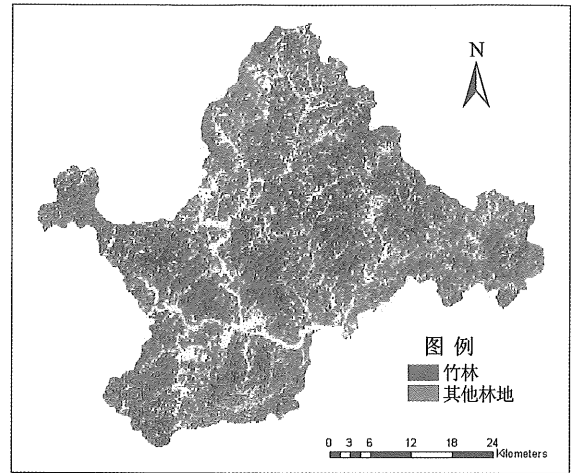


图 7 进一步提取后基于像元的竹林信息图
Fig. 7 Bamboo forest information extraction result with pixel-based after further extraction

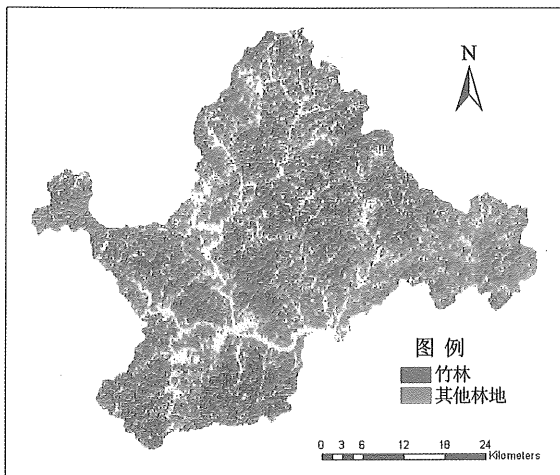


图 5 基于像元提取的竹林信息图
Fig. 5 Bamboo forest information extraction result with pixel-based

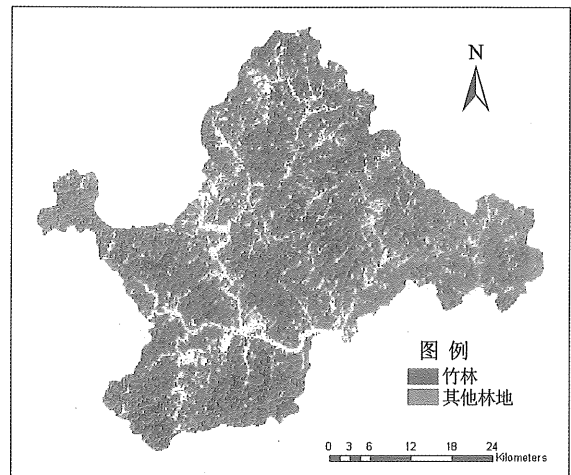


图 8 进一步提取后面向对象的竹林信息图
Fig. 8 Bamboo forest information extraction result with object-oriented after further extraction

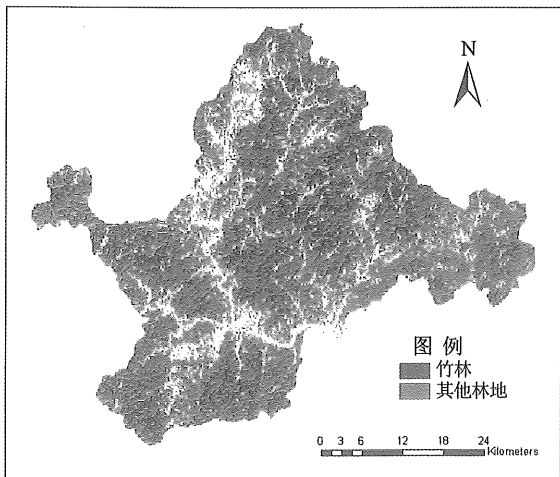


图 6 面向对象提取的竹林信息图
Fig. 6 Bamboo forest information extraction result with object-oriented

表 1 竹林信息提取分类精度
Table 1 Classification accuracies of bamboo forest information extraction

样点数	基于像元		面向对象		行合计
	竹林	非竹林	竹林	非竹林	
竹林	160	45	171	34	205
非竹林	39	295	39	295	334
总计	199	340	210	329	539
		总精度 = 84.42%, 总精度 = 86.46%,			
		Kappa = 0.677 3 Kappa = 0.723 4			

虽相差不大, 但面向对象方法可能更适用于诸如 ALOS 这样的高分辨率遥感影像。基于像元与面向对象两种方法的应用结果共同表明, “基于片层—

面向类”算法适用于南方山地丘陵区的竹林信息提取。

4 结论与讨论

1) 本文运用“基于片层-面向类”的竹林信息提取算法,以 ALOS 高分辨率遥感影像为数据源,分别采用基于像元与面向对象的分类思想,较好地实现了南方山地丘陵区顺昌县的竹林信息提取,并对非片层区进行进一步提取,结果表明,基于像元与面向对象的提取精度分别达 84.42%、86.46%, Kappa 系数分别为 0.677 3、0.723 4。

2) 从精度上看,面向对象法略优于传统的基于像元的监督分类;从图像目视效果上看,面向对象法的连续性更佳。两种方法结果虽相差不大,但面向对象方法可能更适用于诸如 ALOS 这样的高分辨率遥感影像。二者共同表明,“基于片层-面向类”算法适用于南方山地丘陵区的竹林信息提取。

3) 在单纯利用光谱特征难以有效实现信息提取的前提下,可引入纹理信息,从而增强竹林的可判读性,这也是深入挖掘影像信息的必然要求。

4) 对竹林生境分析可知,地形是竹林信息提取工作需重点考虑的因子,本文仅考虑了坡向因子,然而竹的分布与海拔、坡度等亦有紧密联系,若加入这些因子,分多种地形组合情况予以分别考虑,提取精度应还会有所提高。影像中云层分布区域尚有部分竹林信息无法自动提取,本研究予以了舍弃。在研究开展过程中,我们发现,ALOS 影像的分辨率虽可达 2.5 m,但由于其占用空间十分庞大,且数据质量欠稳定,故给本研究尤其是面向对象法的分类过程增加了不少困难。

参考文献:

- [1] 李亦秋,冯仲科,邓欧,等. 基于 3S 技术的山东省森林蓄积量估测[J]. 林业科学, 2009, 45(9): 85-93.
- [2] 许章华,刘健,余坤勇. 基于 RS 与 GIS 地震灾害后森林植被重建的关键技术探讨[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(3): 437-440.
- [3] 赵志平,邵全琴,黄麟. 2008 年南方特大冰雪冻害对森林损毁的 NDVI 响应分析——以江西省中部山区林地为例[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(4): 536-540.
- [4] 刘涛,谷建才,陈凤娟,等. “3S”技术在森林资源调查中的应用与展望[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 156-159.
- [5] 曾庆伟,武红敢,苏森. 基于 TM 数据的林冠状态变化遥感监测研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(2): 186-191.
- [6] MUUKKONEN P, HEISKANEN J. Biomass estimation over a large area based on stand wise forest inventory data and ASTER and MODIS satellite data: A possibility to verify carbon inventories[J]. Remote Sensing of Environment, 2007 (107): 617-624.
- [7] MANI S, PARTHASARATHY N. Above ground biomass estimation in ten tropical dry evergreen forest sites of peninsular India[J]. Biomass and Bioenergy, 2007 (31): 284-290.
- [8] 余坤勇,刘健,许章华,等. 南方地区竹资源专题信息提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(4): 449-455.
- [9] 吴海平,刘顺喜,张荣慧. ALOS 在土地资源调查与监测中的应用研究[J]. 测绘与空间信息, 2009, 32(5): 87-91.
- [10] 谢丽军,张友静,张子衡,等. 结合 KPCA 和多尺度纹理的 IKONOS 遥感影像决策树分类[J]. 遥感信息, 2010 (3): 88-93.
- [11] 杨志刚. 纹理信息在遥感影像分类中的应用[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [12] SOFOUA, EVANGELOPOULOS G, MARAGOS P. Soil image segmentation and texture analysis: A computer vision approach[J]. Geoscience and Remote Sensing Letters, 2005, 2(4): 394-398.
- [13] WANG Z Y, SONG C Y, WU Z Z, et al. Improved watershed segmentation algorithm for high resolution remote sensing images using texture[C]. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005: 3721-3723.
- [14] 鲍海英,李艳,赵萍. 辅以纹理特征的面向对象的遥感影像分类方法研究——以陕西省杨凌县为例[J]. 遥感信息, 2009 (4): 33-37.
- [15] 李春干,代华兵. 基于光谱纹理信息和知识挖掘的 SPOT5 遥感图像分类研究[J]. 福建林学院学报, 2009, 29(3): 231-236.
- [16] 吕婷婷,孙晓宇,于伯华. 基于 MODIS 数据的泰国林地资源提取[J]. 资源科学, 2008, 30(7): 1076-1083.
- [17] 李晓峰,张树清,那晓东,等. 利用 Contourlet 域纹理特征在高分辨率遥感影像上提取林地边界[J]. 林业科学研究, 2008, 21(s): 142-145.
- [18] 党安荣,王晓栋,陈晓峰,等. 遥感图像处理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 116.
- [19] 颜梅春,张友静,鲍艳松. 基于灰度共生矩阵法的 IKONOS 影像中竹林信息提取[J]. 遥感信息, 2004 (2): 31-34.
- [20] 李俊杰,何隆华,戴锦芳,等. 基于遥感影像纹理信息的湖泊围养殖区提取[J]. 湖泊科学, 2006, 18(4): 337-342.
- [21] 孙永军,童庆禧,秦其明. 利用面向对象方法提取湿地信息[J]. 国土资源遥感, 2008 (1): 79-82.
- [22] 张建国,李宪文,吴延磊. 面向对象的冬小麦种植面积遥感估算研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 156-160.
- [23] 苏簪铀,邱炳文,陈崇成. 基于面向对象分类技术的景观信息提取研究[J]. 遥感信息, 2009 (2): 42-46.