

# 漳平市森林可燃物类型变化遥感动态监测

陈芸芝, 陈崇成, 汪小钦, 唐丽玉

(福州大学空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福建省空间信息工程研究中心, 福州 350002)

**摘要:** 森林可燃物类型的空间分布是林火蔓延、灭火可视化建模与仿真中需要考虑的重要因素之一。在对森林可燃物类型划分的研究进行回顾的基础上, 提出了考虑树种信息的分类方法。根据漳平市 2003 年小班图层中的优势树种信息, 获得该市 2003 年四种森林可燃物类型即竹林、阔叶树、杉木林以及马尾松的空间分布专题图。在此基础上, 采用面向对象分类技术, 对 ASTER 影像进行分类, 探测每种可燃物类型的内部变化和外部变化。该技术利用影像分割技术构建分类对象, 使每个对象具有光谱信息的同时, 具备大小、形状、拓扑关系、类别层次等诸多信息。对分类结果进行评价的结果表明, 利用面向对象分类技术, 充分利用了光谱特征以及类别相关特征, 提高了分类精度, 分类的面积精度达到 89.3%。由于影像分割过程应用了专题图层, 对象的边界不会超越专题图层的边界, 使得对现有图层的更新尤为容易。最后, 利用矢量格式的遥感分类结果对原森林小班图层进行更新, 获得新的可燃物类型图层, 作为林火可视化模型的输入图层。该研究不仅提供了现势性强的森林可燃物类型图层, 而且在不破坏原小班边界的基础上, 对发生变化的区域进行刻画。对于森林资源管理者, 提供了实地调查过程的目标区域的信息。

**关键词:** 森林可燃物类型; ASTER 影像; 面向对象分类; 小班图层更新

## 1 引言

可燃物是森林燃烧的三要素之一, 是森林燃烧的物质基础<sup>[1]</sup>。可燃物类型是指占据一定空间, 并保持一定时间内相对稳定的相似可燃物的复合体。可燃物类型综合表现了植被类型所处的生境条件, 及适应于环境形成的林分结构特征, 决定了可燃物的配置结构、密度、理化性质等<sup>[2]</sup>。因此, 可燃物类型的空间分布是林火可视化建模过程中要考虑重要因素。随着林火行为模型研究和林火管理的发展, 可燃物的空间分析与制图逐渐为科学家和森林管理者所重视, 出现了国家级<sup>[3]</sup>、区域级的<sup>[4]</sup>分类系统, 与此相关的遥感、地理信息系统 (GIS) 以及有关模型的应用研究也逐渐增多<sup>[5,6]</sup>。利用森林资源调查获得的小班数据, 可以获得县级森林资源可燃物类型的分布概况, 但目前小班数据实现不了实时的更新, 尤其是在小班局部发生变化时。本研究利用 ASTER 影像, 对漳

平市四种森林可燃物类型分布及其动态变化进行监测, 并利用动态监测的结果, 方便快捷地更新原小班图层, 为林火可视化建模提供可靠的可燃物分布信息。

漳平市位于福建省西南部, 北纬  $24^{\circ}54' \sim 25^{\circ}47'$ , 东经  $117^{\circ}11' \sim 117^{\circ}44'$ 。面积  $2\,951.1\text{ km}^2$ 。为南方林区重点市。有林地面积  $23.08\text{ 万 km}^2$ , 毛竹  $4\,454.5\text{ 万根}$ , 森林覆盖率  $78.5\%$ 。年平均气温  $20.3^{\circ}\text{C}$ , 极端最高气温  $40.3^{\circ}\text{C}$ , 极端最低气温  $-5.7^{\circ}\text{C}$ ;  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $6281.1^{\circ}\text{C}$ 。平均年降水量  $1496\text{ mm}$ , 无霜期  $317\text{ 天}$ <sup>[7]</sup>。

## 2 森林可燃物类型变化分析方法

目前, 划分可燃物类型主要依据植物群落和可燃物模型。划分可燃物模型主要依据是可燃物床层的物理参数, 而不是基于植被的参数, 这些参数需要经过大量的燃烧试验才能确定<sup>[1]</sup>, 在我

收稿日期: 2007-05-12 修回日期: 2008-09-10

基金项目: 国家 973 前期研究专项 (2004CCA 02100) “基于多尺度遥感动态信息的分布式虚拟地理环境研究”, 国家自然科学基金 (30671680) “基于本体的协同式虚拟森林环境研究”。

作者简介: 陈芸芝 (1982-), 女, 福建省连江县人, 在职博士研究生, 助理研究员, 主要从事环境与资源遥感应用研究, 已发表论文 4 篇。E-mail: chenyunzh@fzu.edu.cn

国并不被广泛采用。在森林生态系统中, 地表可燃物常被上层林冠遮蔽, 大多研究采用遥感间接法进行可燃物类型制图, 即先从影像上划分上层植被类型, 再将特定的可燃物模型赋予相应的植被类型<sup>[5]</sup>。考虑到数据的收集情况, 本研究将参照参考文献[8], 采用依据优势树种划分森林可燃物类型的方法来进行。对小班数据进行分析, 漳平市主要有以马尾松、杉木林、阔叶林、经济林及竹林为优势树种的植物群落, 而林火研究一般不考虑经济林, 所以研究中的主要内容为马尾松、杉木林、竹林、阔叶林这四种可燃物类型的分布及变化。从燃烧难易程度来看, 马尾松、杉木林等较易燃烧, 而阔叶林、竹林不易燃烧<sup>[9]</sup>。

利用现有的小班图层, 依据优势树种分别从中抽取竹林、阔叶林、杉木林、马尾松四种可燃物类型空间分布图层, 对于优势树种属性项为空的小班, 则统一划分为非林分。这样界定的目的是便于识别各可燃物类型内部发生的变化、混淆的其他可燃物类型, 以及非林分中可能存在的可燃物类型。分类识别分三步进行, 首先对各可燃物类型内部地物进行划分, 区分其内部存在的其他地类或其他可燃物类型。其次识别非林分中可能存在的可燃物类型。最后对结果进行合并。

考虑到林火可视化建模的目的, 避免基于像元分类结果过于细碎导致可视化建模困难的问题, 本次采用面向对象的分类技术<sup>[10-11]</sup>。面向对象技术是通过将影像的分割, 同质像元组成大小不同的对象, 利用对象的光谱、形状、空间拓扑关系、类层次结构等特征进行分类。主要包括影像分割、类层次建立以及分类等过程。本次分类采用的软件是德国 Definiens公司的 eCognition 5.0, 导入镶

嵌好的 ASTER 影像、以及栅格化的专题图层漳平市行政边界图层、竹林图层、阔叶林图层、杉木林图层、马尾松图层、非林分图层 6 个图层, 让所有专题图层参与分割 (原始影像暂不参与分割)、将影像对象边界控制在各专题图层边界内, 设置足够大的分割尺度 (1000), 并依据影像对象的专题属性对影像进行初步分类, 使后续的影像分割和分类能够针对各专题图层内部分别进行。

### 3 森林可燃物分类及其变化的遥感动态监测

#### 3.1 森林可燃物类型

##### (1) 竹林

相对于其他可燃物类型, 竹林的影像特征较为明显, 因此, 研究可燃物类型分布时, 首先考虑竹林图层。在分割的类别域里, 选择“竹林图层”这一类别, 再进行分割, 此时原始影像参与分割, 尺度参数设为 30, 使竹林内部发生变化的区域能够形成单独的影像对象 (多边形)。典型的竹林, 在遥感影像上呈现黄色 (图 1a) 至褐色 (图 1b) 的特征, 与其他可燃物类型形成强烈的对比。但有相当一部分的竹林小班 (面积相对较小), 其内部的影像特征与其余可燃物类型没有明显的反差, 考虑到混交树种及比例、种植密度以及竹林品种造成的影响, 判定其为竹林 (图 1c), 在竹林小班边缘, 或者孤立在非林分内部的部分面积小班, 其内部影像则呈现非植被覆盖特征, 已明显退化为非林分如荒地或耕地 (图 1d) 等。根据以上分析, 在竹林内部, 主要区分竹林和竹林变化两大类。

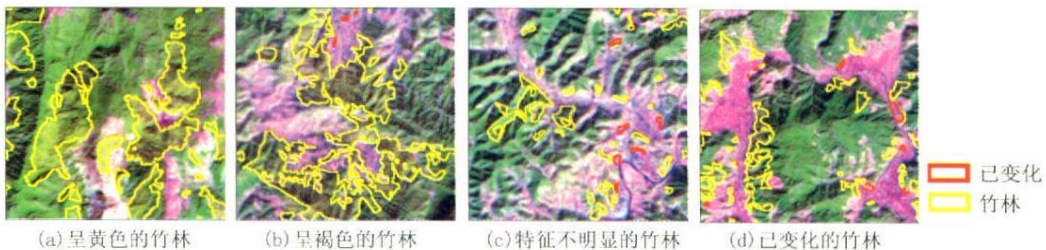


图 1 竹林对象 ASTER 影像特征

Fig. 1 Bamboo object features in the ASTER image

根据上述影像特征, 选择竹林及竹林变化样本, 利用标准最邻近分类器进行分类, 对于少数尚未分类的对象 (如水体等), 划为另一变化类型。

经过统计分析, 该图层内的竹林面积约为 20 500hm<sup>2</sup>, 竹林内部变化的面积很少, 仅占原竹林面积的 1% 左右, 一般发生在较小的孤立于耕地

或居民地中的小班，或者小班的边缘，变化结果多为采伐迹地、荒地或耕地，没有发现变为火烧迹地的，这也表明了竹林是一种难以燃的可燃烧的类型。

(2) 阔叶林、马尾松及杉木林

阔叶林在漳平市分布较广，总面积约占 60 000hm<sup>2</sup>。组成阔叶林的树种，相对于竹林，更为复杂，其影像特征不如竹林典型。在阔叶林图层内，不同阔叶林的影像特征各不相同 (图 2a~2e)，为此，在分类过程中采用了先细化后综合的方法。除了阔叶林，还包括竹林、采伐迹地、疏

林地及部分火烧迹地 (图 2f~ 2j)。在阔叶林图层内识别竹林，为降低与阔叶林混淆的可能性，除在标准最邻近分类器中利用光谱特征以外，还添加隶属度函数，利用“与相邻的竹林类对象的相对边界 (公共边长/对象周长)”这一类间关系特征计算隶属度，最后取两个隶属度值中的较小的值作为对象的隶属度 (图 3a)。采用的隶属度函数表示，当计算出的特征值大于或者等于 0.3 时，隶属度值为 1，而特征值小于或者等于 0.2 时，隶属度为 0 其他的隶属度值遵循两边界之间的函数斜率的定义获得 (图 3b)。

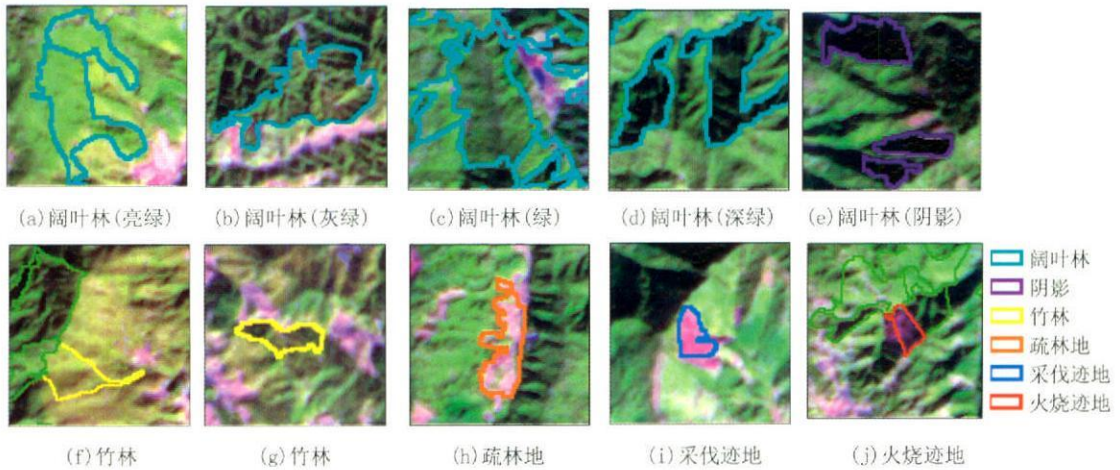


图 2 阔叶林图层内的地物

Fig 2 Georobjects in the layer of broad leaved forest

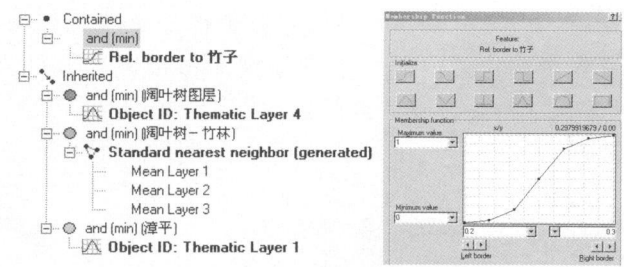


图 3 阔叶林图层中竹林类描述及其隶属度函数

Fig 3 Description and its membership function of bamboo forest class in broad-leaved forest layer

利用手动分类工具对个别误判的对象指定正确的类别，并进行类别重组。经过统计，阔叶林图层内，98.4%的阔叶林未发生变化，0.58%左右实际上是竹林，0.4%左右变成采伐迹地，变成火烧迹地的仅 0.27%。马尾松和杉木林图层的分类结果同阔叶林类似，马尾松图层总面积约 10万 hm<sup>2</sup>，其中马尾松占 98.2%，疏林地占 0.69%，火烧迹

地占 0.54%，采伐迹地占 0.49%；杉木林图层约 5万 hm<sup>2</sup>，其中杉木林 97.6%，其余主要是疏林地占 1.58%，采伐迹地占 0.34%，火烧迹地占 0.32%，竹林占 0.1%。从分类统计结果看，由马尾松变成火烧迹地的面积及概率均大于杉木林变成火烧迹地的面积。马尾松相对更容易燃烧。

3.2 非林分图层分类

非林分图层包括非林地、疏林地、灌木林地、未成林造林地以及采伐迹地、火烧迹地、荒山荒地等无林地，该层内的植被特征，可能是灌木林、草场或转化成的林分，草场的纹理特征相对独特可进行单独提取，而灌木林与林分则较难区分，暂时统一为林分。林分中除竹林因为影像特征明显，可进行提取外，其余可燃物类型相互区分比较困难。为此，在标准最邻近分类器中利用光谱特征，在隶属度函数中利用相对边界及相对面积



(即在对象周围给定距离范围内, 某类地物所占的面积百分比) 两种类间关系特征作为判别准则。如从林分中区分阔叶林, 采用的规则是: 与已分的阔叶林总类别的相对边界要大于 0.2 同时 150 个像元 (即 2 250m) 范围内阔叶林总的面积比大于 0.2hm<sup>2</sup>。该规则利用了地物自相关性以及周围优势地类来进行判断。区分马尾松、杉木林的规则与阔叶林类似, 但区分马尾松时, 要求相对面积要在 0.3hm<sup>2</sup> 以上, 因为马尾松的分布较其他类型要广。对于上述规则不能作出判断的地类, 将其划分为非林分 - 未知类型, 由于分类结果中包含有灌木林, 因此, 将分类结果导出后, 利用灌木林图层对其进行了掩膜, 并更正其内变化为林分的信息。

非林分图层中, 累计约 14 200hm<sup>2</sup> 的林分, 约占其总面积的 21%。在确定的类型中, 转化为马尾松的居多, 占 5.4%, 其次依次是阔叶林占

2.41%、杉木林占 1.65%、竹林占 0.4%。还有 11% 左右的林分 (不是竹林) 利用上述规则无法确定类型。采伐迹地、非林地以及暂未利用的荒山、荒地, 向林分转化的面积居多, 而竹林主要由非林地转化, 杉木林、阔叶林、马尾松主要由采伐迹地转化。

### 3.3 森林可燃物类型变化的遥感监测

将各个专题图层分类的结果进行重组, 将各专题图层下的类别按同一可燃物类型或相同地类组成一个新的组, 形成可燃物类型/地类总的分布, 对发生变化的区域, 按照变化后的类别进行重组, 形成可燃物类型/地类变化分布, 同样, 在结果导出后, 需要利用灌木林图层进行掩膜, 将灌木林图层范围内的类别分别重编码为到“非林分-未变化” (图 4a) 及“漳平未变化” (图 4b)。

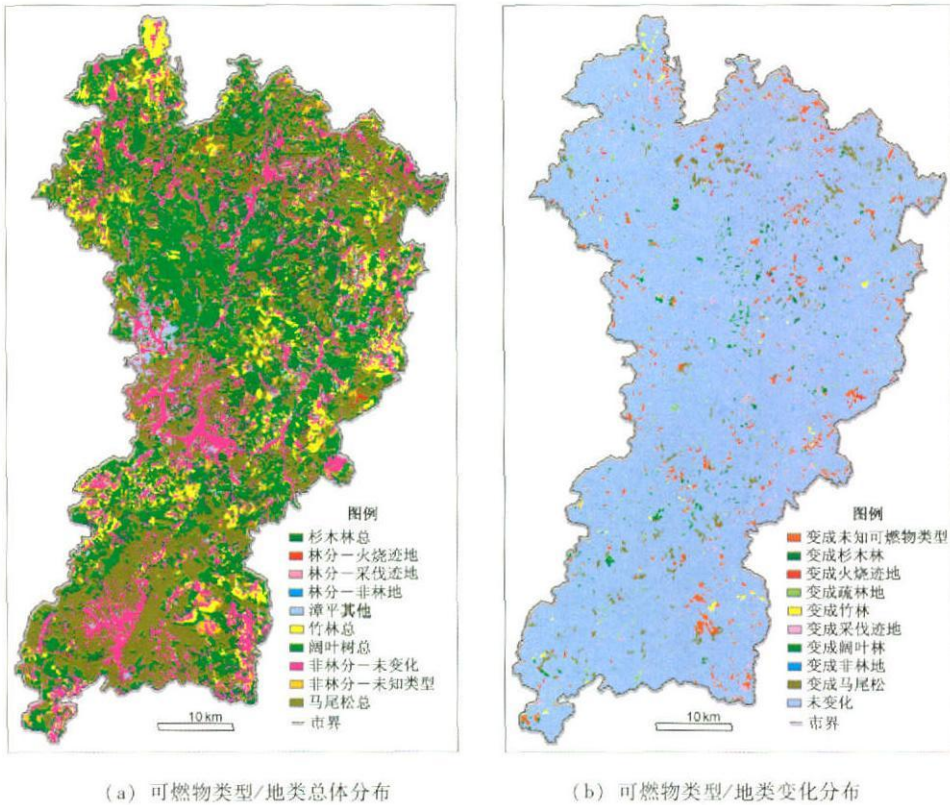


图 4 分类结果汇总

Fig. 4 Summary of classification results

对分类结果和变化结果进行统计, 见表 1:

四种可燃物类型中, 马尾松分布最广, 其次是阔叶林、杉木林和竹林。对应地, 由非林分变成马

尾松的面积最大, 其次是阔叶林、杉木林和竹林, 此外, 在其他可燃物类型中可以辨别出部分的竹林。四种可燃物类型向其他地类转变的总面积约为

表 1 漳平市可燃物类型及变化面积

Tab 1 Areas of each fuel types and its change in Zhangping city

类别	面积 (hm <sup>2</sup> )	变化类别	面积 (hm <sup>2</sup> )
非林分—未知类型	7257.6450	变成未知可燃物类型	7257.6450
竹林	21687.0525	变成竹林	692.6850
马尾松	102724.5150	变成马尾松	3570.4800
杉木林	48877.7175	变成杉木林	1088.0325
阔叶林	60490.3275	变成阔叶林	1594.6650
变成采伐迹地	1169.7300	变成火烧迹地	855.1575
变成非林地	46.6425	变成疏林地	1676.3400

3 450hm<sup>2</sup>, 大大小于其他地类向四种可燃物类型转变的总面积 14 200hm<sup>2</sup>, 可燃物类型面积净增 1万多 hm<sup>2</sup>。

将可燃物类型/地类的结果以矢量格式(图 5a)导出,在 ARCGIS 中对原小班图层(图 5b)进行更新。采用叠加分析中的“IDENTIFY”命令,可以不破坏原小班图层边界,选择对两个图层属性进行关联,使更新后的图层(图 5c)具有更新前后两种地类属性,方便对结果的验证和修改。并利用“ELM NATE”命令将原分类结果的锯齿状边界与小班边界形成的细小多边形滤除<sup>[12]</sup>。更新后的图层可直接用于林火可视化建模,并可作为新一轮的森林资源调查提供要进行验证的区域。

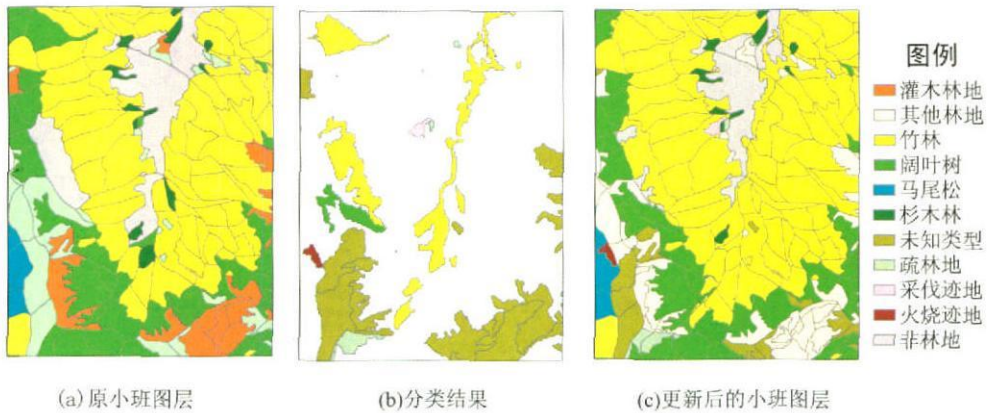


图 5 利用遥感分类结果更新小班图层

Fig. 5 Updated forest stand layers by remote sensing classification result

## 4 结论与讨论

对面向对象分类结果的验证,应基于对象进行。小班数据已作为辅助信息参与分类,不可再次用于精度评价。而前期主要是在漳平市五一林场内调研树木形态等内容,可用于精度评价的地面数据不够,因此,本次分类精度评价以目视判读为主,主要针对发生变化的对象,因为未变化对象的类别与小班数据保持一致。从发生变化的 5 555 个对象中选取 240 个面积最大的对象作为精度评价的样本,参照小班图层内未变化对象的影像特征及属性,对样本类别进行判别,记录正误情况。结果表明,参与评价的 240 个对象中,判读正确的有 215 个,其面积占总面积的 89.3%,其中 112 个对象总面积达 46.2% 还不能确定其变化后的可燃物类型。判断错误的 15 个对象主要集中在非林地(13 个)和阔叶林(8 个),具体变化为非林地变成马尾松、阔叶林等,阔叶林变成竹

林,分类错误的原因是光谱信息的混淆。可见面向对象分类技术的应用,由于能综合应用光谱信息和类间关系等特征,较大程度降低对象间的光谱混淆。而分类结果以影像分割形成的对象为单元,也更接近林业资源管理中以小班为基本经营单元的思路。

本次利用 ASTER 影像,采用面向对象分类技术,对漳平市四种可燃物类型的空间分布及变化进行了监测。由于面向分类过程中的影像分割过程中利用各专题图层,使影像对象边界没有超越各可燃物类型的边界,方便对现有图层地更新。该研究除了为林火可视化建模提供了时效性更好的图层外,对于森林资源管理来说,可以在不破坏原小班边界的基础上,发现存在变化的地块并针对性的对变化地块进行实地验证。面向对象分类技术的应用,在充分利用影像对象光谱信息的基础上,进一步地利用对象之间的邻近相关性等地学特征对类别进行界定,降低了因为光谱特征相近造成的混淆,提高分类的准确性。

## 参考文献

- [1] 单延龙, 张敏, 于永波. 森林可燃物研究现状及发展趋势. 北华大学学报, 2004, 5(3): 264~269
- [2] 袁春明, 文定元. 森林可燃物分类与模型研究的现状与展望. 世界林业研究, 2001, 14(2): 29~34
- [3] Loveland T R. Toward a national fuels mapping strategy: Lessons from selected mapping programs. International Journal of Wildland Fire, 2001, (10): 289~299.
- [4] Dymond C C, Roswintiarti, O Brady M. Characterizing and mapping fuels for Malaysia and western Indonesia. International Journal of Wildland Fire, 2004, (13): 323~334
- [5] Keane R E, Burgan R, van Wageningen J. Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. International Journal of Wildland Fire, 2001, (10): 301~319.
- [6] Falkowski M J, Gessler P E, Morgan P, et al. Characterizing and mapping forest fire fuels using ASTER imagery and gradient modeling. Forest Ecology and Management, 2005, (217): 129~146
- [7] 福建省地方志编纂委员会, 福建省地图出版社. 福建省地图集. 福州: 福建省地图出版社, 1999.
- [8] 高成德, 田晓瑞, 舒立福等. 重庆铁山坪森林可燃物类型划分及其燃烧性. 森林防火, 2005, (2): 29~30
- [9] 高兆蔚. 福建省森林防火区划研究. 福建林学院学报, 1995, 15(1): 76~82
- [10] Walter V. Object-based classification of remote sensing data for change detection. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2004, (58): 225~238
- [11] 陈云浩, 冯通, 史培均等. 基于面向对象和规则的遥感影像分类研究. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(4): 316~320
- [12] 陈芸芝, 陈崇成, 凌飞龙等. 生态环境遥感分类数据矢量化方法与应用. 地球信息科学, 2003, 5(4): 88~93

## Forest Fuel Types Classification and Change Detection by Remote Sensing in Zhangping City

CHEN Yunzhi, CHEN Chongcheng, WANG Xiaoqin, TANG Liyu

(Key Lab. of Spatial Data Mining & Information Sharing of Ministry of Education, Spatial Information Research Center, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract** Forest fuel type's spatial distribution is one of the key factors to be considered during forest fire spread and fire-fighting visualization modeling and simulation. Based on review of the status of the study on forest fuel type classification, a classification method considering tree types was put forward. According to the attribute of predominant tree types of 2003 forest stand layers, four forest fuel types, i.e., bamboo forest, broad-leaved forest, Chinese fir forest, and Masson pine forest and their spatial distribution in Zhangping was acquired firstly. The object-oriented classification technology, which using the techniques of image segmentation to construct objects containing information of size, shape, topography and class hierarchy besides spectral information, and involving procedures of segmentation, construction of class hierarchy, and classification, was then applied to the ASTER images to detect interior and exterior change of each type's. Accuracy assessment of the classification result indicated that by the technology of object-oriented classification, both the spectral features and class-related features were used, and the accuracy was improved in terms of area, reaching 89.3%. Because thematic layers were involved during the image segmentation, the boundaries of objects did not get across the boundaries of each thematic layer, this makes the updating of the existing layers become very convenient. Finally, the vector format data of remote sensing classification result was used to update the original forest stand layer in order to get the available inputs of fire visualization modeling. This study not only provided up-to-date input layers of forest fuels types for fire visualization modeling, but also detected the areas which have been changed without changing the boundaries of the original forest stands. For forest resource managers, it provided target areas for validation by field survey.

**Key words** forest fuel type, ASTER image, object-oriented classification, updating of forest stand