

高分辨率林业生态工程监测系统研建与应用

莫琴¹, 陈志泊¹, 谢士琴¹, 陈明健¹, 夏朝宗²

(1. 北京林业大学 信息学院, 北京 100083; 2. 国家林业局 调查规划设计院, 北京 100714)

摘要: 林业生态工程监测是林业管理和生态建设的基础性工作, 对于监督工程落实情况和调整相关林业政策具有重要意义。选取重庆市云阳县为研究区, 以高分 1 号卫星遥感数据、二类调查数据以及基础地理数据等为基础, 通过遥感影像特征提取、OTSU 阈值分割和面向对象分类等方法, 研发林业生态工程地块识别、成林提取、森林类型分布提取等算法模型, 建立满足林业生态工程动态监测业务需求的高分遥感应用技术体系, 并结合空间数据库技术和 ArcGIS Engine 二次开发技术, 实现将数据管理、造林核查检查、森林资源动态监测和林业专题产品生产集成于一体的监测应用示范系统。高分辨率卫星数据与遥感监测应用技术体系的结合有利于林业生态工程管理建设, 提升了中国森林资源调查与监测技术水平。图 4 参 15

关键词: 森林经理学; 林业生态工程监测; 高分辨率卫星; 应用示范系统; 森林资源; 云阳县

中图分类号: S757.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2017)04-0737-06

Developing a system for monitoring high resolution forestry ecological projects

MO Qin¹, CHEN Zhibo¹, XIE Shiqin¹, CHEN Mingjian¹, XIA Chaozong²

(1. School of Information Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China)

Abstract: Monitoring forestry ecological projects is vital as a fundamental task of forestry management and ecological construction. To supervise project application and adjust forestry policies, a research area in Yunyang County in Chongqing was selected as a demonstration area based on available high-resolution data, forest resource inventory data, and basic geographic data. Through feature extraction of remote sensing images, the Otsu threshold segmentation method, and object-oriented classification, research was conducted on an algorithm of reforestation site identification, forest extraction, and forest type isolation for forestry ecological projects. Results showed a high-resolution remote sensing application technology system which satisfied the operational requirements of dynamically monitoring forestry ecological projects. The system integrated data management, afforestation checks, dynamic forest resources monitoring, and forestry-related products to produce a demonstration system. The combination of high resolution satellite image and remote sensing application technology was sufficient for management and construction of forestry ecological projects and could improve the technological level for examining and monitoring national forestry resources. [Ch, 4 fig.15 ref.]

Key words: forest management; monitoring forestry ecological projects; high resolution satellite; application and demonstration system; forestry resources; Yunyang County

面对森林资源的动态性、复杂性和特殊性, 传统的森林资源调查和监测方法由于周期长, 地面工作

收稿日期: 2016-08-03; 修回日期: 2016-09-29

基金项目: 国家国防科技工业局资助项目(21-Y30B05-9001-13/15-4)

作者简介: 莫琴, 硕士, 从事计算机软件与理论研究。E-mail: moqinsmile@163.com。通信作者: 陈志泊, 教授, 博士生导师, 从事数据库技术研究。E-mail: 1518432531@qq.com

量大,已难适应现代林业发展的需要^[1]。利用卫星影像和遥感技术进行森林资源调查,可以在同一时间对大面积的工程区进行大规模监测,是现代森林资源管理中的重要技术手段^[2]。然而,近年来森林资源监测的遥感数据来源主要依赖从国外购买昂贵的 SPOT-5, Quick Bird 等高分辨率卫星数据(简称“高分数据”)^[3],数据获取能力十分有限且分类精度低,导致林业对国产高分辨率遥感数据和处理技术的需求与日俱增。此外,林业生态工程监测虽然已经有较多技术积累,但迄今为止还未建立完整的全国林业生态工程监测业务系统,不利于林业生态工程管理和监测^[4]。2013年,中国发射了首颗高分辨率对地观测卫星高分1号卫星(简称“GF-1”),可提供幅宽不低于60 km,空间分辨率优于2 m的全色影像和优于8 m的多光谱影像。李艳华等^[5]利用国产 GF-1 遥感影像研究山区细小水体提取方法,王磊等^[6]分析了 GF-1 影像特征及其在草地监测中的应用。如今 GF-1 影像已成为土地利用动态监测、城乡规划监测评价、森林资源调查监测、荒漠化监测等行业的重要数据源。本研究针对国产 GF-1 数据,研究高分遥感影像信息提取算法模型,实现工程造林地块识别、造林成林提取、森林分布变化提取精度达到85%,森林类型提取精度达到80%,建设中国高分林业生态工程监测应用系统。

1 数据源

云阳县位于重庆市东北部的三峡库区腹地,是三峡库区沿江经济走廊承东启西、南引北联的重要枢纽,其生态区位十分重要,是中国天然林资源保护工程和退耕还林工程实施重点县。本研究选取云阳县作为研究示范区,用到的数据包括:2013年和2015年云阳县 GF-1 遥感影像共19景,2009年森林资源清查数据,2012年森林资源二类调查数据,以及行政区划、地形图和落界矢量等基础地理数据。

2 系统建设

2.1 体系结构

本系统采用 C/S 模式进行开发,从上到下划分为应用层、平台支撑层和数据层^[7],如图1所示。①数据层:负责存储和管理系统建设所需的各类数据库,以关系数据库 SQL Server 作为基础数据库来统一管理数据,空间数据引擎 Arc SDE 来实现空间数据的管理和操作^[8]。②平台支撑层: ArcGIS Engine^[9]是 ESRI 推出的一套完备的嵌入式地理信息系统(GIS)二次开发组件库和工具库^[10],系统基于 ArcGIS Engine10.1 组件,使用 C# 语言在 .Net 环境下进行开发,结合 eCognition 和 Envi 等遥感应应用软件提供的二次开发工具和算法语言,开发高分遥感专题信息提取工具,利用 NASA World Wind 3D Engine 组件,实现监测成果数据在三维环境下无缝漫游和显示。③应用层:可为林业生态工程建设相关部门、单位,提供数据管理、造林核查检查、森林资源动态监测和专题产品生产等方面应用服务。

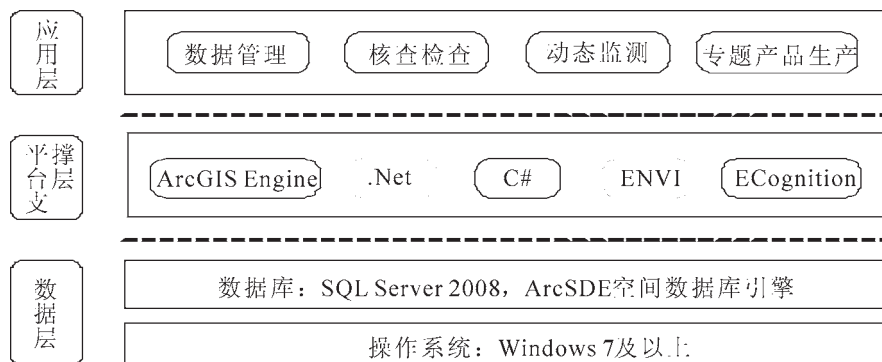


图1 体系结构图

Figure 1 System structure diagram

2.2 功能模块设计

要利用 GF-1 遥感影像对研究区森林资源变化情况进行监测,需要进行如下业务流程:收集和处理研究区 GF-1 遥感影像,整理天然林资源保护工程和退耕还林工程造林、管护和抚育经营等方面的档案资料,采集研究区工程地块变化数据、退耕农户统计等,建立数据库管理森林资源数据。对遥感影像进

行信息提取, 得到造林地块信息和成林提取信息, 以及森林类型和森林分布变化, 对工程区进行造林核查检查和资源动态监测。依据专题图制作规范, 绘制工程造林地块分布图、工程造林成林分布图、工程区森林类型图和工程区森林变化分布图等专题产品。因此, 本系统按照监测业务需求分成 4 个功能模块: 森林资源数据管理、造林核查检查、森林资源动态监测和专题产品生产(图 2)。

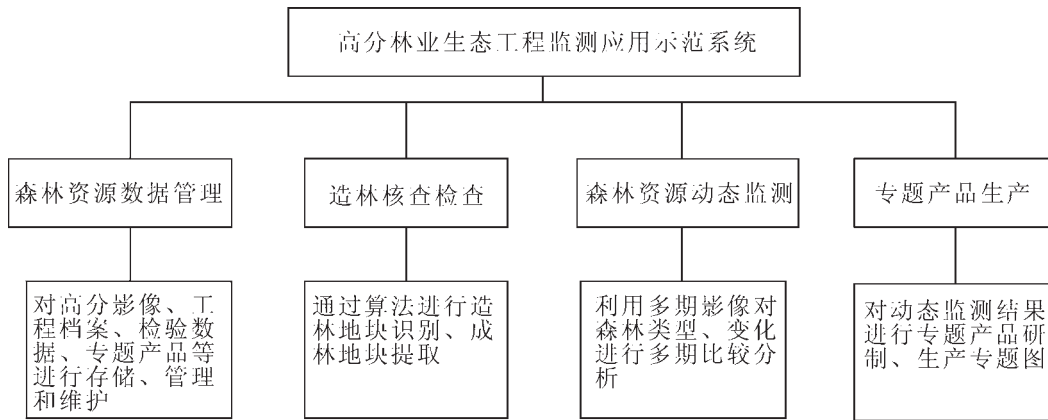


图 2 系统功能模块

Figure 2 System functional module

2.3 关键技术

2.3.1 造林地块识别算法 为了改变传统的地面区划调查方法, 精准掌握工程区造林地块林木生长情况, 系统以工程区造林地块为底图, 利用高分遥感影像的光谱特征和形状特征, 实现工程造林地块自动识别, 将工程区造林地块的林地小班分为郁闭成林、林木明显分布、无林木明显分布等 3 类, 并生成工程造林地块分布图。具体算法步骤如下: ①特征提取: 在高分遥感影像中, 不同地类的植被覆盖指数(I_{NDVI})和色调特征值具有较显著的差异。根据 GF-1 的全色和多光谱融合影像特点和地块识别的需求, 分别提取 I_{NDVI} 和色调 2 个特征。植被覆盖指数(I_{NDVI})是植物生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子, 经归一化处理后的 I_{NDVI} 可以部分消除与太阳高度角和大气条件辐射等影响^[11]。 I_{NDVI} 计算方法如式(1), 其中 I_{RNI} 和 R 分别为近红外波段和红波段处的反射率值:

$$I_{NDVI} = (I_{RNI} - R) / (I_{RNI} + R) \quad (1)$$

色调是目视解译判读和遥感分类提取中最常用的特征参数, 系统采用 IHS 变换模型^[12]进行 RGB(R 为红色值, G 为绿色值, B 为蓝色值)到 IHS(强度 I , 色调 H , 饱和度 S)的变换。如式(2):

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad (2)$$

其中: $\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{1/2(R-G) + (R-B)}{[(R-B)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right\}$ 。②基于林地小班的林木和非林木分类。获取林地小班 I_{NDVI} 和色调数据, 对其进行 OTSU 自动阈值分割^[11], OTSU 法以图像的灰度直方图为依据, 通过计算图像中目标类和背景类的类内方差最小、类间方差最大来进行自动阈值求取。 I_{NDVI} 和色调值均大于或等于其对应自适应分割阈值的为林木, 否则为非林木。③林地小班分类: 根据林地小班的林木和非林木分类结果, 按照郁闭度(林木在该林地小班区域中所占的比例)将林地小班分为郁闭成林、林木明显变化和林木无明显变化。并根据实际需求, 生成地块识别矢量文件。

2.3.2 成林地块提取算法 成林地块提取算法主要用来提取造林地块成林和未成林情况, 以此客观反映工程区森林区造林成林建设成效, 对工程区进行核查检查。①特征提取以及林木和非林木分类: 提取 GF-1 影像 I_{NDVI} 和色调特征, 进行 OTSU 自动阈值分割, 对林地小班进行林木和非林木分类。②基于林地小班的面向对象分类: 利用面向对象分类技术提取该林地小班中林木和非林木连通区域, 每个连通区域为一个分类对象, 面向对象分类以含有更多语义信息的多个相邻同质像元组成大小不同的对象为处理单元, 利用对象的空间特征和光谱特征实现较高层次的遥感图像分类和目标地物提取^[13]。根据分类对象面积要求对该林地小班的所有分类对象进行合并, 得到分类对象的成林和未成林情况, 并生成成林提取

矢量结果。

2.3.3 森林类型识别算法 利用 GF-1 影像判读和森林类型提取，对森林类型分布实施定期动态监测。算法流程如下：①特征提取和林木非林木分类：利用 GF-1 影像数据，分别提取植被覆盖指数、色调、纹理等 3 个特征，其中植被覆盖指数和色调可提高林木和非林木的分类精度，纹理特征可有效区分森林类型。纹理特征是指图像灰度等级的变化，描述图像局部特性，即相邻像元之间的关系，用以表示图像的均匀、细致、粗糙等现象，系统采用灰度共生矩阵算法^[14]提取纹理特征，对林地小班进行 OTSU 自动阈值分割，得到林木和非林木分类结果。②林地小班森林分类：统计林地小班中林木区域的纹理均值和方差，将该林地小班分为竹林、针叶林、针阔混交林、阔叶林共 4 类，生成森林类型分布图。

2.3.4 森林分布变化提取算法 森林分布变化监测功能主要是利用影像分割和分类技术提取工程区地块的森林变化区域。具体步骤如下：根据高分影像中林木和非林木区域在光谱、色调上的特点，分别提取前期和后期遥感影像的植被覆盖指数和色调 2 个特征，进行 OTSU 自动阈值分割，采用面向对象技术，对林地小班进行林木和非林木区域分类，并根据郁闭度修正林木和非林木分类结果。经过对比前后期 2 期影像的林木和非林木分类结果，分析森林分布变化，将林地小班进一步分为新成林(无林木区域变为郁闭成林区域)、森林转出(郁闭成林区域变为无林木区域)和仍为森林等 3 类。

3 系统在森林资源监测管理中的应用

根据林业生态工程监测现状和需求，以重庆市云阳县为示范区，搭建基于 ArcEngine 二次开发的高分林业生态工程监测应用示范系统。系统包括数据管理、核查检查、动态监测、专题产品产出定 4 个功能模块。

3.1 森林资源数据管理

森林资源数据管理是高分辨率林业生态工程监测应用的基础内容，利用 SQL Server 和 Arc SDE 数据库技术，对高分辨率林业生态工程的空间数据和非空间数据进行分类管理和显示。根据业务需求将数据分成高分影像、工程档案、检验数据、专题产品和其他数据等 5 项，如图 3 所示。系统提供强大的管理工具和多样化的可视化平台，将基础地理数据、小班调查矢量数据以及遥感影像集成到空间视图平台上^[15]，通过 3D Engine 插件功能实现空间数据的三维显示，还能通过查询功能获取林地小班的属性数据，及时反映森林资源现状。

3.2 造林核查检查

造林地块识别：从数据库选取 2013 年云阳县 GF-1 数据，对林地小班进行造林地块识别，得到郁闭成林分布、林木明显分布和无林木等明显地块数分别为 1 076，552，47 个；面积分别为 2 415.4，

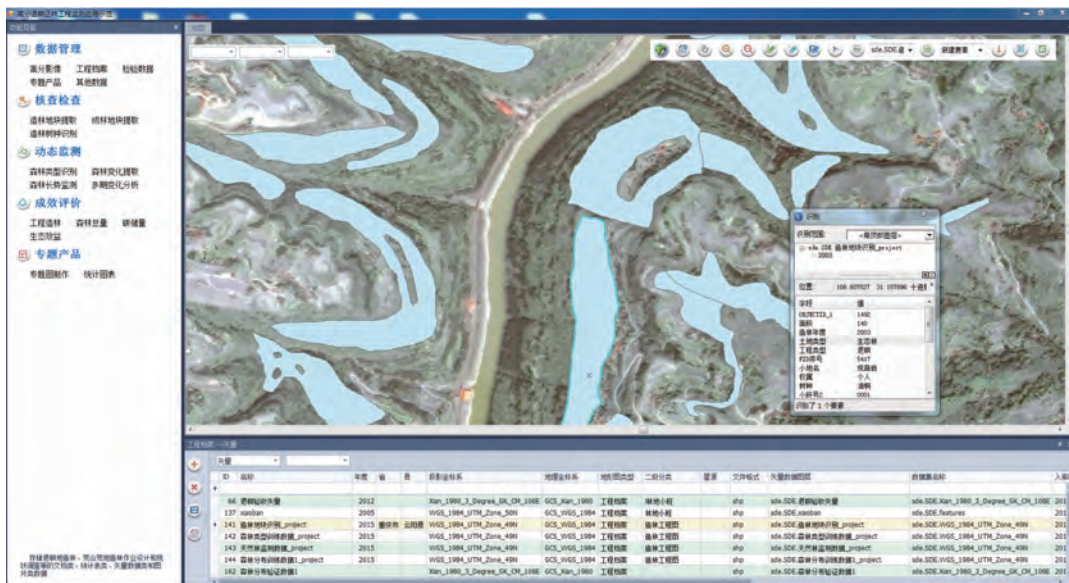


图 3 森林资源数据管理显示界面

Figure 3 Display interface of forest resources data management

1 401.2, 20.9 hm²。经外业调查核查验证, 此区域包含 1 916 个造林地块, 面积为 4 316.6 hm², 汇总估算此区域地块识别精度为 88.9%。图 4 为利用云阳县 2015 年 GF-1 遥感影像进行造林地块识别生成的专题图结果。成林地块提取: 对云阳县 2013 年 GF-1 影像进行成林地块提取, 得到成林和未成林地块数分别为 1 879 和 1 809 个, 面积分别为 933.2 和 2 569.4 hm², 外业验证成林提取精度达到 87.2%。结果表明: 本研究使用的植被覆盖指数和色调特征结合的遥感信息提取算法在造林地块识别和造林成林提取方面具有明显的优势, 提取精度均在 85% 以上。利用遥感技术进行核查检查摒弃了传统人工现场调查的方法, 大大提高了工作效率和成果质量, 为林业生态工程动态监测和绩效评价提供基础。

3.3 森林资源动态监测

森林类型识别: 运用森林类型识别算法, 对云阳县某区域 2013 年 GF-1 影像进行识别, 得到针叶林、阔叶林、混交林等的地块数分别为 568, 15, 59 个, 面积分别为 2 789.7, 42.0, 391.7 hm², 森林类型识别精度达到 86.1%。森林分布变化提取: 以云阳县 2013 年和 2015 年获取的同一区域不同时相的两景 GF-1 影像为例, 通过森林分布变化提取, 得到仍为森林、森林转出和新成林地块数分别为 779, 38, 529 个, 森林分布变化提取精度为 86.5%。从结果可以看出: 新成林地块数占总地块数的 39.3%, 天然林保护工程和退耕工程成果显著, 不仅原有森林得到良好保护, 而且退耕还林和造林成林面积迅速增长。

4 结语

以云阳县为示范研究区, 将国产 GF-1 遥感数据应用于林业生态工程监测研究, 建设了全国高分林业生态工程监测应用示范系统, 解决了高分林业生态工程造林识别、成林提取等技术瓶颈。利用遥感等信息获取分析工具和地理信息系统, 实现森林资源管理、核查检查、动态监测、专题产品生成和绩效评价等功能, 大大提高了云阳县森林资源监测水平和效率, 同时对于国产高分率卫星遥感影像在林业生态工程中的应用起到了重要的示范作用, 推动了国家林业生态工程建设与管理的进程。

5 参考文献

- [1] 吴朝平, 邵景安, 黄志霖, 等. 基于“二类调查”的三峡库区重点生态恢复县森林资源空间特征的遥感分析[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1): 99 - 110.
WU Zhaoping, SHAO Jingan, HUANG Zhilin, *et al.* Remote sensing analysis of forest resources characteristics in main ecological restoration counties in the Three-Gorge Area based on the 2nd-class inventory data [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2014, 25(1): 99 - 110.
- [2] 杜灵通. 基于遥感的退耕还林监测技术及其应用前景[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(5): 477 - 482.
DU Lingtong. Monitoring technology of returning farmland to forests project based on remote sensing and its application forecast [J]. *Remote Sens Technol Appl*, 2006, 21(5): 477 - 482.
- [3] 李增元, 高志海, 李凡, 等. 高分林业遥感应用示范系统的建设与应用[J]. 卫星应用, 2015(3): 25 - 30.
LI Zengyuan, GAO Zhihai, LI Fan, *et al.* Construction and application of high resolution forestry remote sensing application demonstration system [J]. *Satell Appl*, 2015(3): 25 - 30.
- [4] 马勇, 张旭, 郭颖, 等. 林业遥感云平台的系统结构与功能设计[J]. 世界林业研究, 2013, 26(4): 50 - 56.
MA Yong, ZHANG Xu, GUO Ying, *et al.* Systematic structure and functional design of cloud services platform for forest remote sensing [J]. *World For Res*, 2013, 26(4): 50 - 56.
- [5] 李艳华, 丁建丽, 闫人华. 基于国产 GF-1 遥感影像的山区细小水体提取方法研究[J]. 资源科学, 2015, 37



图 4 云阳县工程地块分布图
Figure 4 Yunyang County engineering site map

- (2): 408 – 416.
- LI Yanhua, DING Jianli, YAN Renhua, *et al.* Extraction of small river information based on China-made GF-1 remote sense images [J]. *J Resour Sci*, 2015, **37**(2): 408 – 416.
- [6] 王磊, 耿君, 杨冉冉, 等. 高分 1 号卫星影像特征及其在草地监测中的应用[J]. 草地学报, 2015, **23**(5): 1093 – 1100.
- WANG Lei, GENG Jun, YANG Ranran, *et al.* Characteristics and application of GF-1 image in grassland monitoring [J]. *Acta Agrest Sin*, 2015, **23**(5): 1093 – 1100.
- [7] 姚智, 张晓丽. 基于 WebGIS 平台的森林郁闭度遥感反演信息系统研建[J]. 浙江农林大学学报, 2015, **32**(3): 392 – 398.
- YAO Zhi, ZHANG Xiaoli. Based on Web GIS platform developing remote sensing information systems of forest canopy density inversion [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2015, **32**(3): 392 – 398.
- [8] 范志坚. 基于 Arc SDE for Oracle 的 1:1 万基础地理信息空间数据库的设计与实现[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2006.
- FAN Zhijian. *Design and Implementation of 1:10 000 Fundamental Geographic Spatial Database Based on Arc SDE for Oracle* [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2006.
- [9] SONG Xuan, QIU Shuai, DU Liping, *et al.* Arable land quality assessment system development and its application based on ArcGIS engine [J]. *J Software*, 2013, **8**(2): 320 – 326.
- [10] 孙丽, 高飞, 胡小华, 等. ArcEngine 插件式 GIS 二次开发框架的设计与实现[J]. 测绘科学, 2011, **36**(5): 214 – 216.
- SUN Li, GAO Fei, HU Xiaohua, *et al.* Design and realization of framework for plug-in GIS secondary development based on ArcEngine [J]. *Sci Surv Map*, 2011, **36**(5): 214 – 216.
- [11] 陈杰, 陈铁桥, 刘慧敏, 等. 高分辨率遥感影像耕地分层提取方法[J]. 农业工程学报, 2015, **31**(3): 190 – 198.
- CHEN Jie, CHEN Tiejiao, LIU Huimin, *et al.* Hierarchical extraction of farmland from high-resolution remote sensing imagery [J]. *Transa Chin Soc Agric Eng*, 2015, **31**(3): 190 – 198.
- [12] 祝晓坤, 庞国丰. 一种基于 IHS 圆柱变换模型的影像融合质量综合评价方法[J]. 测绘科学, 2011, **36**(4): 136 – 138.
- ZHU Xiaokun, PANG Guofeng. A method based on IHS cylindrical transformation model for quality assessment of image fusion [J]. *Sci Surv Map*, 2011, **36**(4): 136 – 138.
- [13] 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]. *Res Sci*, 2013, **35**(8): 1710 – 1718.
- [14] 王月婷, 张晓丽, 杨慧乔, 等. 基于 Landsat 8 卫星光谱与纹理信息的森林蓄积量估算[J]. 浙江农林大学学报, 2015, **32**(3): 384 – 391.
- WANG Yueting, ZHANG Xiaoli, YANG Huiqiao, *et al.* Forest volume estimation based on spectral and textural information from the Landsat 8 satellite [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2015, **32**(3): 384 – 391.
- [15] 赖超, 方陆明, 李记, 等. 森林资源信息集成系统的设计与实况[J]. 浙江农林大学学报, 2015, **32**(6): 890 – 896.
- LAI Chao, FANG Luming, LI Ji, *et al.* Design and implementation of an integrated forest resources information system [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2015, **32**(6): 890 – 896.