doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.S0.047

基于高分影像的面向对象土地利用变化检测方法研究

孙中平^{1,2} 白金婷³ 史园莉² 刘素红^{1,2} 姜 俊² 王昌佐² (1.北京师范大学地理学与遥感科学学院,北京 100875;

2. 环境保护部卫星环境应用中心,北京 100094; 3. 北京林业大学林学院,北京 100083)

摘要:以2013年与2014年2期高分一号卫星影像为数据源进行浙江省海盐县沿海地带土地利用类型变化检测。 面向对象的变化检测方法包括单一波段差值比值法、多层次多波段差值比值法、变化矢量分析法,为对比检测效果 还进行了基于像元的多波段差值法与比值法对多光谱影像与融合影像的检测。结果表明,面向对象的变化检测总 体精度为86.29%,Kappa系数为0.72,优于基于像元的变化检测方法。在面向对象的变化检测中,运用融合影像 进行分层次多波段差值比值法得到的检测效果最好,优于变化矢量分析法。而基于像元的变化检测中,运用融合 影像进行多波段差值法得到的检测效果较好。

关键词:面向对象 变化检测 基于像元 多层次 中图分类号:F301.24 文献标识码:A 文章编号:1000-1298(2015)S0-0297-07

Object-oriented Detection of Land Use Changes Based on High Spatial Resolution Remote Sensing Image

Sun Zhongping^{1,2} Bai Jinting³ Shi Yuanli² Liu Suhong^{1,2} Jiang Jun² Wang Changzuo²

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2. Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China

3. College of Forest, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The remote sensing images from GF – 1 satellite in 2013 and 2014 were used to detect the land use changes of the coastal zone in Haiyan County, Zhejiang Province. Two detective methods were compared through the pixel-based and object-oriented changes. In the pixel-based land use change detection, the multi-band difference and ratio methods were used to detect the land use changes based on multi-spectral and fusion images. In the object-oriented land use change detection, the effect of multi-spectral and fusion images were researched using multi-band difference and ratio methods on the single-level and multi-level. On this basis, the detection results of human activities region combined with shape features were analyzed. In addition, the change vector analysis (CVA) was adopted to conduct land use change detection basing on the multi-spectral and fusion images. The results showed that the overall accuracy of object-oriented land use change detection was 86. 29%, and Kappa coefficient was 0. 72, which were better than those of the pixel-based land use change detection. In the object-oriented land use change detection, the detection results of multi-band difference and ratio methods which using fusion image were the best, and they were better than those of CVA. And in the pixel-based land use change detection, the results of multi-band difference method which used fusion image were better than those of the other methods.

Key words: Object-oriented Change detection Pixel-based Multi-level

作者简介:孙中平,博士生,环境保护部卫星环境应用中心高级工程师,主要从事环境遥感应用研究,E-mail: sunnybnul14@163.com 通讯作者:刘素红,教授,主要从事遥感应用研究,E-mail: liush@ bnu.edu.cn

收稿日期: 2015-10-28 修回日期: 2015-11-17

^{*}国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2013AA12A302)

引言

遥感影像的变化检测可广泛应用于资源环境监测、农林业以及城市规划建设等诸多领域,如土地资源利用情况、城市扩展调查、地图数据库更新以及海湾生态环境调查等方面,具有良好的应用前景^[1]。 及时、准确地掌握地表地物变化信息可以辅助人们 更加合理地进行规划与决策,为进一步理解人和自 然现象的关系以及相互作用机理提供帮助。利用野 外测量的传统土地变化检测方法已经不能满足现阶 段我国社会、经济快速发展的实际需要。而卫星遥 感技术由于其发展迅速,为实时、准确、快速的土地 利用变化检测方法提供了良好的契机与条件。土地 覆被变化检测也已成为遥感技术的主要应用领域之 一。

遥感影像的变化检测是根据不同时期的遥感数 据,对地表变化的特征和过程进行定量分析与确定。 近 30 年来,各国研究者相继研发了大量基于遥感技 术的变化检测方法,其大致可分为分类前比较法与 分类后比较法。在分类前比较法中,基于像元的检 测方法包括基于光谱特征变异的变化检测方法、基 于主成分变化的变化检测方法、代数运算法以及变 化向量分析法。张锦水等^[2]运用变化向量分析法, 结合光谱与纹理信息,验证该方法可在一定程度上 减小误差积累。杨希等^[3]对影像差值法进行改进, 通过计算差值影像的均值与标准差并建立两者数学 关系,确定了变化阈值。Chen 等^[4] 对目前的面向对 象变化检测方法进行了总结,将其归为4类:影像对 象、类别对象、多时相对象、混合方法。龙玄耀等^[5] 运用基于组分的多尺度形态学梯度进行影像分割 后,完成对影像中城市的变化检测,有效提升了城市 变化检测精度。申广荣等[6]运用面向对象分类软 件对城镇绿地信息进行动态监测,获取针对提取颜 色、光谱特征等相似的各种类别的绿地信息,效果良 好。

由于高分辨率遥感影像资源丰富,具有明显清 晰的地物纹理、结构、形状等细节信息。所以高分辨 率影像变化检测方法已逐渐成为研究热点^[7]。对 于面向对象的土地利用变化检测方法来说,最大的 优势在于分类的基本单元不是单个像素,而是通过 多尺度分割得到的"同质"对象。对象与单个像素 相比具有更加丰富的语义信息,其中包括纹理、拓 扑、形状等特征,并且能够在检测中加入人的思维, 提高检测精度^[8-9]。而传统的基于像元的变化检测 方法则存在检测精度低、不能充分利用遥感影像信 息、速度慢等劣势,并易导致空间数据的大量冗余和 资源浪费,不能良好地适应高分辨率影像^[10]。

本文针对浙江省嘉兴市海盐县沿海地带 2013 年与 2014 年 2 期高分一号卫星影像,进行基于像元 与面向对象的变化检测。采用差值法、比值法和变 化矢量分析法对遥感影像进行变化检测。在面向对 象变化检测中,重点运用差值法与比值法对 2 期多 光谱影像和融合影像的沿海地带人类活动区域土地 利用类型变化进行单层次与多层次检测分析,比较 多光谱影像与融合影像分别在不同层次分割下的变 化检测效果,实现粗略区域定位到精准变化发现的 检测。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于浙江省嘉兴市海盐县沿海地带,人 类活动较为集中。海盐县(北纬 30°21′~30°28′、东 经 120°43′~121°02′)位于浙江省北部富庶的杭嘉 湖平原,东濒杭州湾,西南与海宁市毗邻,北与嘉兴 秀洲区、平湖市接壤,其遥感影像如图 1 所示。研究 区南离省会杭州 98 km,北距上海 118 km。下辖武 原、澉浦、秦山等 8 个乡镇。全县陆地面积 534.73 km², 江口海湾面积 537.90 km²。



图 1 研究区遥感影像 Fig. 1 Remote sensing image of study area

1.2 数据源

高分一号卫星能够实现在同一颗卫星上高分辨 率与宽幅成像能力的结合,在我国环境监测、国土资 源调查与精准农业等方面发挥着重要作用与价值。 详细的卫星影像参数见表1。

遥感数据预处理:几何校正,由于高分一号遥感 影像为一级产品,无法在 ArcGIS 中显示,需运用 RPCbat 软件对其进行粗校正;运用 ENVI 对遥感影 像进行几何精校正,校正过程中重采样方法选择最 邻近法,最终的空间配准误差小于 0.4 个像素,影像 位置精度满足研究要求;运用 Gram - Schmidt(GS) 方法将多光谱影像与全色影像进行融合,既保留了 影像的光谱信息又增强了影像的空间分辨率,

表 1	高分一号卫星(GF−1)影像参数
ah 1	Parameters of $CF = 1$ satellite image

# #	泣 邸	光谱范围/	空间分	幅宽/	覆盖
4人10	奴权	μ^{m}	辦率∕m	km	周期/d
	PAN	0.45 ~0.90	2	70(2×35)	41
	B1	$0.45 \sim 0.52$			
PMS(2 m/8 m)	B2	0.52~0.59	0	70	41
	В3	0.63~0.69	8		41
	B4	0.77~0.89			
	B1	$0.45 \sim 0.52$			
WEW (16)	6 m) B2 B3	0.52~0.59	16	800 (4×200)	
WFV(16 m)		0.63~0.69	16		4
	B4	0.77~0.89			

融合效果良好;根据研究需要对多光谱影像和融合 影像按照研究区范围进行影像裁剪。

1.3 研究方法

1.3.1 基于像元的变化检测

涉及的基于像元的变化检测方法包括:差值影 像生成、比值影像生成与阈值确定等。在进行比值 运算生成影像过程中,将分子与分母同时加上一个 很小的数进行运算,避免分母可能为零的情况。在 变化检测方法中,阈值确定是重要环节。由于差值 法(灰度差值)的灰度直方图近似正态分布,所以可 依据统计学规律与经验,通过经验公式选取阈 值^[11],运用阈值*T*₁、*T*₂对差值影像进行掩膜,并将差 值影像中的像元灰度在阈值*T*₁、*T*₂两端的像元确定 为变化像元,介于阈值*T*₁、*T*₂间的像元则确定为非 变化像元,便可得到变化和非变化的二值影像。阈 值的经验计算公式为

$$\begin{cases} T_1 = M - nS \\ T_2 = M + nS \end{cases}$$

式中 M——影像的灰度平均值

S——标准差

n——门限值,依据经验选取

对于灰度比值法,由于比值影像中未发生变化的像元灰度应位于1左右,所以可依据经验并结合辅助数据,在1附近选取阈值T₁、T₂,检测出变化与

非变化信息,得到二值影像。

1.3.2 面向对象的变化检测

1.3.2.1 多尺度分割

谣感影像多尺度分割技术采用多尺度结构解决 层次关系,能够克服遥感数据的固定尺度,是获取不 同尺度下影像信息的最有效方法。多尺度分割遵循 异质性最小原则,从任一像元开始,采取自下而上的 区域合并法并根据影像异质性形成对象。其中,影 像异质性由对象的光谱以及形状差异决定,而形状 异质性则由光滑度以及紧凑度衡量^[12]。对于多尺 度分割效果而言,分割参数是重要因素,主要包括分 割尺度、均质性因子以及波段权重。分割尺度决定 了影像对象的大小以及信息提取的精度。根据提取 的目标信息特征进行不同尺度的分割,能够建立对 象的层次体系,为获取高精度分类结果奠定基础。 均质性因子均会对分割效果产生影响,包括紧凑度、 平滑度、色彩、形状。而波段权重则有利于后续提取 感兴趣信息,可根据感兴趣信息特征的明显程度确 定。

在每种地物类型适合的相应尺度下进行影像提 取分析,可以充分集中不同类型不同尺度下反映的 形态规律与特征属性的优势,其结果相较于将所有 地物类型运用同一相对最佳尺度进行提取分析来说 要精确得多。

道路对象宽度较小,且易与邻接地物特征混 淆。若进行大尺度分割,可能使邻接地物对象合 并至道路对象,造成"混合对象"。所以较小分割 尺度利于道路对象的分割。而建筑物较道路而 言,可选择较大分割尺度,使得分割对象可以体现 变化的建筑群。

采用多层次分割方法进行影像分割,根据不同 目标地物的特征情况确定相应合适的分割尺度,使 得获得的对象能够在最大程度上接近地物本身的形 状与分布格局。由于最佳分割尺度的选定需要考虑 遥感影像分辨率以及数据分析目的,所以需要通过 目视判别确定各个地物提取的最佳分割尺度。对研 究区影像进行多尺度分割,具体分割参数见表2。

	表 2	多尺度分割参数	[
Tab 2	Multi co	ale commentation	noromotore

分割类型	影像类型	分割层次	分割尺度	形状因子	紧致度因子	对象域			
单层次	多光谱影像		30	0.5	0.5	Pixel level			
	融合影像		50	0.3	0.5	Pixel level			
多层次 —	夕 业 ` 举 剧、 体	Level 1	30	0.5	0.5	Pixel level			
	多尤借彰傢	Level 2	70	0.4	0.5	Level 1 object			
	动人民伤	Level 1	50	0.3	0.5	Pixel level			
	融合影像	Level 2	80	0.5	0.5	Level 1 object			

1.3.2.2 变化检测方法

变化检测是土地覆被变化提取的关键步骤,其 中包括发现变化、变化范围确定、变化类型确定。变 化检测方法有多种,同一块研究区域运用不同的检 测方法会得到不同的检测结果。因此,在变化检测 过程中,根据研究区的遥感影像质量与类型以及环 境条件选定合适的检测方法是土地利用变化检测的 关键。

(1)差值比值法

本文选择针对光谱特征空间为2个时相遥感影像的4个波段的差值与比值,即蓝波段、绿波段、红波 段以及近红外波段。其中,面向对象的差值与比值数 据是根据前文的分割结果中每个对象的灰度平均值, 运用不同年份影像同一对象的灰度平均值进行相减 与相除得到。根据对多波段差值与比值的阈值确定, 得到变化检测结果,并结合形状特征建立变化检测规 则,剔除一定的错分情况,改善变化检测效果。

形状特征是所描述影像对象本身形状特征的集合,反映对象在形状方面的信息^[13],即指地物具有 形状、大小等特征,且包含拓扑及边缘关系等几何特 征。

(2)变化矢量分析法

变化矢量分析法(Change vector analysis, CVA) 是特征向量空间变化的检测方法。其中,变化矢量 是描述基准影像到检测影像某一像元的光谱变化大 小与方向的向量^[14]。

将基准影像与检测影像通过 eCognition 建立工程文件,调整波段显示,进行多尺度分割获取对象,提取4个波段内的灰度组成该对象的特征矢量。将基准影像的特征矢量记为*X*,检测影像的特征矢量记为*Y*。*X*与*Y*分别为

	$\begin{bmatrix} x_1 \end{bmatrix}$		y ₁
X –	<i>x</i> ₂	V –	y_2
л –	÷	1 -	÷
	$\begin{bmatrix} x_i \end{bmatrix}$		_ y _i _

式中 *i*——波段数

变化矢量 ΔC 定义为

$$\Delta \boldsymbol{C} = \boldsymbol{X} - \boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} x_1 - y_1 \\ x_2 - y_2 \\ \vdots \\ x_i - y_i \end{bmatrix}$$

变化强度 |ΔC | 定义为

$$|\Delta C| = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_i - y_i)^2}$$

\ΔC \包括从基准时期到检测时期全部波段变化的总和,体现了2期影像的灰度差异。通常来说,

若1ΔC1较大,表示不同时期的2幅遥感影像间的差 异较大,对应对象的地物类型发生改变的概率较大, 反之则较小。变化矢量分析法的关键问题在于能否 选定一个合适的阈值来评判对象地物属性是否发生 变化,所选择的阈值能否检测出大部分发生变化的 对象,是阈值确定的一个基本原则^[15]。

2 结果与分析

2.1 基于像元的变化检测结果

洗用海盐具沿海地区 2013 年和 2014 年 2 期谣 感影像的融合影像,采用决策树分类方法中的影像 差值法与比值法,对2期遥感影像的多个波段进行 变化监测。影像差值法是根据2时相影像对应位置 上像素的差值判断地类是否发生变化,阈值的确定 由经验公式完成,图2为差值影像的二值化结果(红 色为发生变化的区域,蓝色为非变化区域,图3、6 同)。相较于差值法而言,影像比值法能够较为快 捷地完成土地利用变化检测。如果土地利用类型没 有发生变化,相应像素的比值应近似为1,否则,说 明影像发生了变化。所以可通过阈值设定来判断哪 些像素或区域发生了变化。图3为比值影像的二值 化结果,与图2相比,该检测结果减少了一部分非本 质变化检测区。这是由于在表示目标变化的影像 上,有些变化区域是由于拍摄角度辐射量具有差异 性等外在非本质原因造成的,而有些地方确属目标 变化区域。比值操作的结果可以减小非本质变化区 域,并通过目视解译确定最佳阈值,以便排除可能不 属于目标本质变化的像元。

2.2 面向对象的变化检测结果

2.2.1 分层次差值比值法

选用海盐县沿海地区 2013 年与 2014 年 2 期遥 感影像的多光谱影像与融合影像,运用 eCognition 软件对 2 期影像进行多尺度分割。在多尺度分割 中,分别对道路、建筑物等重点人类活动区域的变化 进行单层次与多层次分割。图 4 为单层次差值比值 法的分割结果(亮绿色为建筑发生变化的区域,红 色为道路发生变化的区域,图 5 同),具有较多的过 分割现象。图 5 为多层次差值比值法的分割结果, 相比单层次的分割结果而言,多层次的分割结果, 相比单层次的分割结果而言,多层次的分割结果减 少了一些过分割现象,如图 5 中部的建筑物表面存 在"同物异谱"现象,但借助多层次分割可以很好地 分割出来。多层次分割使得多种地物对象的过分割 和欠分割现象减少,可在目标影像层中显示新增建 筑群对象,利于变化识别。

本研究中运用光谱特征和形状特征进行变化结



图 2 差值二值化影像图





图 3 比值二值化影像图 Fig. 3 Ratio images of binary changed images (a)多光谱影像 (b)融合影像

果的检测。

光谱特征:主要描述对象的全局特征,综合对象 内部全部像元的光谱信息,与像元的空间排列结构 无关。光谱特征空间包括:2 期影像蓝波段、绿波 段、红波段、近红外波段的灰度差值与比值。

形状特征:指地物具有形状、大小等特征,且包 含拓扑及边缘关系等几何特征。形状特征空间包 括:面积、长度、宽度、长宽比、面积与长度之比等。



图 4 单层次差值比值法局部区域示意图 Fig. 4 Segmented results of difference image and ratio image on single-level

(a) 多光谱影像 (b) 融合影像



图 5 多层次差值比值法局部区域示意图 Fig. 5 Segmented results of difference image and ratio image on multi-level (a) 多光谱影像 (b) 融合影像

2.2.2 变化矢量分析法

选用海盐县沿海地区 2013 年融合影像作为基 准影像,2014 年融合影像作为检测影像,将 2 期影 像套合并进行多尺度分割,获取 2 期影像的图斑。 可通过各图斑特征向量的提取,采用变化矢量分析 法对变化区域进行提取与检测。图 6 为使用变化矢 量分析法的变化检测结果,与图 2 差值二值化影像 变化检测结果和图 3 的比值二值化影像变化结果相 比,图 6 面向对象的变化矢量分析结果不存在"椒 盐效应"问题。



图 6 面向对象的变化矢量分析检测结果 Fig. 6 Detected results using object-oriented CVA method (a)多光谱影像 (b)融合影像

2.3 精度评价

精度评价主要是根据检测结果与评价数据建立 混淆矩阵,计算生产精度、错分、使用精度、总体精 度、错判误差、漏判误差、Kappa 系数等精度评价指 标,对变化检测结果进行评价。

2.3.1 基于像元变化检测结果的精度评价

通过建立变化与非变化误差矩阵对基于像元 的变化检测结果进行精度评价,具体评价结果见 表3。

- & 3 - 本」 隊 儿 左 但 に 但 広 文 化 世 洲 悄 反 け !	表 3	基于像元差值比值法变化检测精度评价
--	-----	-------------------

Tab.3 Accuracy assessment results of change detection using pixel-based difference and ratio methods

变化检测方法	影像类型	生产精度/%	使用精度/%	漏判误差/%	错判误差/%	总体精度/%	Kappa 系数
差值法	多光谱影像	72.18	82.80	27.82	17.20	76.40	0.50
	融合影像	74.76	83.24	25.24	16.76	78.85	0.54
比值法	多光谱影像	77.65	85.17	22.35	14. 83	71.21	0.42
	融合影像	80. 05	86. 89	19.95	13.11	74.78	0.46

由表3可看出,运用多波段差值法的变化检测 总体精度及 Kappa 系数要优于多波段比值法。而在 同一种变化检测方法中,运用融合影像检测得到的 结果较多光谱影像要好。 2.3.2 面向对象变化检测结果的精度评价

在研究区影像上随机选取 250 个样点,通过混 淆矩阵的建立,对面向对象的差值比值法与 CVA 变化 检测结果进行精度评价。精度评价结果见表4 与表5。

表 4 面向对象差值比值法变化检测精度评价

Tab.4 Accuracy assessment results of change detection using object-oriented difference and ratio methods

分割层次	影像类型	生产精度/%	使用精度/%	漏判误差/%	错判误差/%	总体精度/%	Kappa 系数
单层次	多光谱影像	93.18	95.38	6.82	4.62	83.40	0.66
	融合影像	94.32	96.18	5.68	3.82	84.27	0.68
多层次	多光谱影像	94.32	96.21	5.68	3.79	84.00	0.67
	融合影像	95.45	97.01	4. 55	2.99	86. 29	0. 72

表 5 面向对象 CVA 变化检测精度评价

Tab. 5 Accuracy assessment results of change detection using object-oriented CVA method

影像类型	生产精度/%	使用精度/%	漏判误差/%	错判误差/%	总体精度/%	Kappa 系数
多光谱影像	92.05	94.49	7.95	5.51	81.05	0.62
融合影像	94.32	96.12	5.68	3.88	83.47	0.67

由表4可看出,运用多波段差值比值法对经过 分层次分割的遥感影像进行变化检测能够获得更好 的效果,检测总体精度达到86.29%,Kappa系数为 0.72。而运用经过单一层次分割的遥感影像得到的 变化检测结果的总体精度较低。在相同分割层次的 变化检测试验中,运用融合影像进行变化检测的效 果优于多光谱影像。

由表 5 可看出, CVA 变化检测结果的总体精度 及 Kappa 系数分别为 83.47%、0.67,高于基于像元 的差值法与比值法,但低于面向对象分层次差值比 值法。运用融合影像进行 CVA 检测的结果优于多 光谱影像。

3 结论

(1) 面向对象的变化检测方法总体精度与

Kappa 系数高于基于像元的变化检测方法。运用融 合影像进行变化检测的效果优于多光谱影像。

(2)在面向对象的变化检测中,运用多波段差 值比值法的检测效果优于变化矢量分析法。在差值 比值法中,将形状特征与检测结果相结合,可加强对 人类活动区域变化的重点剖析,且经过多层次分割 的遥感影像检测效果优于单一层次,可对新增的建 筑群产生整体认识。此外,可通过分别对多光谱以 及融合影像进行变化检测,实现粗略区域定位到精 准变化发现的检测。

(3) 在基于像元的变化检测中,运用多波段差 值法的检测效果优于比值法。

参考 文 献

- 1 周成虎. 高分辨率卫星遥感影像地学计算[M]. 北京:科学出版社,2009:11-13.
- 2 张锦水,潘耀忠,韩立建,等.光谱与纹理信息复合的土地利用/覆盖变化动态监测研究[J].遥感学报,2007,1(4):501-510. Zhang Jinshui, Pan Yaozhong, Han Lijian, et al. Land use/cover change detection with multi-source data [J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 1(4):501-510. (in Chinese)
- 3 杨希,刘国祥,秦军,等.基于多时相遥感影像灰度差值法的地表变化检测[J].四川测绘,2008,31(3):99-103. Yang Xi, Liu Guoxiang, Qin Jun, et al. Change detection of urban surface based on image subtracting operation between multitemporal images [J]. Surveying and Mapping of Sichuan, 2008, 31(3):99-103. (in Chinese)
- 4 Chen G, Hay G J, Carvalho L M T, et al. Object-based change detection [J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(14): 4434-4457.
- 5 龙玄耀,李培军.基于图像分割的城市变化检测[J].地球信息科学,2008,10(1):121-127. Long Xuanyao, Li Peijun. A method of urban change detection based on image segmentation [J]. Geo-Information Science, 2008, 10(1):121-127. (in Chinese)
- 6 申广荣, 钱振华, 徐敬敬, 等. 基于 eCognition 的城镇绿地信息动态监测研究[J]. 上海交通大学学报:农业科学版, 2009, 27(2): 1-6.

Shen Guangrong, Qian Zhenhua, Xu Jingjing, et al. Study on dynamic change of green land in town base on eCognition [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science, 2009, 27(2): 1-6. (in Chinese) 7 闻春晶,赵书河,李晖.面向对象的高分辨率遥感影像变化检测方法[J].山东师范大学学报:自然科学版,2010,25(1): 126-129.

Wen Chunjing, Zhao Shuhe, Li Hui. One object-oriented change detection method on the high resolution images [J]. Journal of Shandong Normal University: Natural Science, 2010, 25(1): 126 - 129. (in Chinese)

8 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 Chengbin, et al. Taking SPOT5 remote sensing data for example to compare pixel-based and object-oriented classification [J]. Remote Sensing Technique and Application, 2012, 27(3): 366-371. (in Chinese)

9 韩闪闪,李海涛,顾海燕. 面向对象的土地利用变化检测方法研究[J]. 遥感信息, 2009(3): 23-29. Han Shanshan, Li Haitao, Gu Haiyan. The study on land use change detection based on object-oriented analysis [J]. Remote

Sensing Information, 2009(3): 23 – 29. (in Chinese)

- 10 Lu D, Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance [J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(5): 823-870.
- 11 吴柯,牛瑞卿,王毅,等. 基于 PCA 与 EM 算法的多光谱遥感影像变化检测研究[J]. 计算机科学, 2010, 37(3): 282-285.
 Wu Ke, Niu Ruiqing, Wang Yi, et al. Change detection of multi-spectral remote sensed images based on PCA and EM algorithm [J]. Computer Science, 2010, 37(3): 282-285. (in Chinese)
- 12 Benz U C, Peter H, Gregor W, et al. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2004, 58(3-4): 239-258.
- 13 顾海燕. 面向对象的高分辨率遥感影像分类技术研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2007.
 Gu Haiyan. Research on the object-oriented classification technology of high resolution remote sensing imagery [D]. Fuxin: Liaoning Technology University, 2007. (in Chinese)
- 14 邓小栋.基于变化矢量分析的土地利用变化检测方法研究[D].北京:中国科学院,2006:63-65. Deng Xiaodong. Researches on land use change detection based on change vector analysis method [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2006:63-65. (in Chinese)
- 15 Xian G, Homer C, Fry J. Updating the 2001 national land cover database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change detection methods [J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(6):1133-1147.