

文章编号: 1001-1595(2010)06-0618-06

高分辨率多光谱影像城区建筑物提取研究

谭衢霖

北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044

Urban Building Extraction from VHR Multi-spectral Images Using Object-based Classification

TAN Qulin

School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: Building extraction in urban environment requires high spatial resolution remotely sensed data. However, traditional pixel based classifiers based on spectral features are ineffective for high resolution multi-spectral images due to large within class spectral variations and between class spectral confusions. In this study, a rule based object oriented classification method for building extraction was developed from an IKONOS urban scene. The method included the following steps: ① fusion of 1 m panchromatic and 4 m multispectral bands to produce a pan-sharpened 1 m multi-spectral image; ② segmentation of the 1 m dataset; ③ supervised object based classification into broad spectral classes; ④ spectral, spatial, textural and contextual parameters developed from sample building objects were implemented in a fuzzy logic rule base to separate building rooftops from other impervious surface classes. The rule based method identifies building rooftops with 93% accuracy in the experiment.

Key words: object oriented image analysis; fuzzy logic; segmentation; classification; building extraction

摘 要: 城区高空间分辨率遥感数据由于存在大量同物异谱和异物同谱现象, 应用传统的基于像元光谱分类的方法进行建筑物分类提取难以取得满意的效果。发展了一种从高分辨率 IKONOS 卫星影像上基于知识规则的面向对象分类提取城区建筑物方法, 包括如下步骤: ① 融合 1 m 全色和 4 m 多光谱波段影像, 生成 1 m 分辨率的多光谱融合影像; ② 分割融合影像; ③ 执行基于对象光谱的最近邻监督分类; ④ 应用模糊逻辑分类器结合光谱、空间、纹理和上下文特征等知识规则进行建筑物分类。统计试验表明, 该分类方法提取城区建筑物精度可达到 93%。

关键词: 面向对象影像分析; 模糊逻辑; 分割; 分类; 建筑物提取

中图分类号: P237

文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金(40801121); 中央高校基本科研业务费专项项目(2009JBM067)

1 引言

详细的城区建筑物分布图主要通过航空相片解译或人工地面测量获得, 这种传统获取方法需要较高的数据成本。近年来, 相对低廉的 m 级及优于 m 级的商业高分辨率(VHR)多光谱卫星(如 IKONOS、QuickBird 和 WorldView-1/2)影像的出现, 有望改变必须借助航空遥感影像进行城区制图的局面。在高分辨率卫星遥感影像上, 建筑物屋顶是城区建筑物制图的主要特征, 地面建筑物的轮廓形状可通过卫星遥感影像上显示的屋顶的形状及其分布来表征。当前, 由于城区屋顶材料组分、颜色、形状、大小以及建筑物的朝向在城区环境下变化多样, 高分辨率遥感影像城区建筑物制图仍是一件挑战性的工作。

由于城区环境空间格局复杂多样, 城区各类地物在上述高分辨率多光谱影像上光谱变异度高, 同物异谱和异物同谱现象远比自然环境下普遍, 给应用传统的基于像元光谱特征进行自动或半自动地物分类带来了困难^[1]。已有研究表明, 高分辨率遥感影像 4 个多光谱波段虽然光谱范围覆盖较宽, 但区分城区水体、裸土、植被、阴影和不透水性地面等土地覆盖类是有效的^[2-3], 进一步把光谱混淆严重的不透水性地面区分为道路、停车场和建筑物则存在困难^[4]。面向对象影像分析是不同于逐像元光谱特征分析的一种可以表达和应用语义信息特征的新方法。这种方法把影像分割成有意义的影像区域(对象), 不仅能够表达影像区域的光谱特征, 还能表达丰富的空间、纹理和上下文特征等语义信息, 从而使区分光谱相似的地

类成为可能^[5]。

当前,已有不少研究者尝试利用面向对象分析方法来进行高分辨率遥感影像城区建筑物提取制图。如 Hofmann 等利用 IKONOS 高分辨率遥感影像数据,结合机载激光扫描仪获得的高分辨率数字高程模型和数字地籍图,采用基于对象分类的方法进行城区建筑物制图试验,取得了很好的效果^[6]。Shackelford 等在较为规则的网格状城区,把像元分类图作为基于知识规则的面向对象模糊分类输入,利用简单的空间和上下文语义特征参数对建筑物进行分类制图,也取得了很好的效果^[7]。总结分析可以发现,当前的已有相关研究主要是针对排列较为规则或建筑物屋顶材料较为单一的简单城区场景,或者是借助外部数据(如 DEM 或地籍图),利用面向对象的分析方法来提取城区建筑物。对于不平整或复杂的城区场景,当缺乏先验知识或其他的外部数据时,如何利用面向对象的影像分析及分类方法进行高分辨率遥感城区建筑物提取则尚待进一步研究。

2 方法与试验

试验城区位于加拿大安大略省伦敦市西安大略大学校区(图1),区内建筑物的形状大小及密度、方向、用途和屋顶材料复杂多样。试验数据为2004年4月15日获取的经过辐射和几何校正的 IKONOS 地学参考影像。

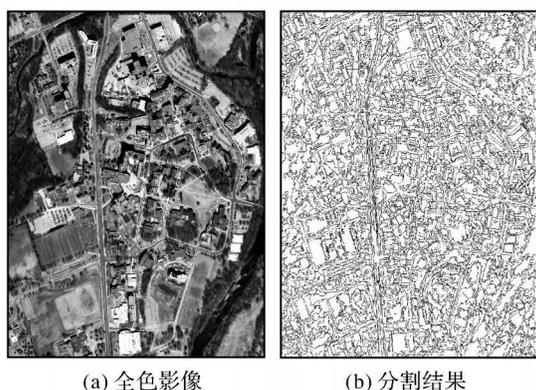


图1 试验区 IKONOS 全色影像和高分辨率影像分割结果

Fig. 1 Panchromatic IKONOS image and segmentation result of the test site

2.1 图像预处理

影像增强有利于感兴趣地物的分割提取。1 m 全色和 4 m 多光谱波段的 IKONOS 影像非

常适合于图像融合增强。为尽量减少光谱信息损失,采用 SFIM (smoothing filter-based intensity modulation) 方法^[8]进行融合。对融合后的影像进行直方图均衡化增强对比度,然后用多分辨率分割算法进行分割。

2.2 图像分割

图像分割算法采用 Baatz 和 Schape^[9]发展的多分辨率分割算法(MRS)。多分辨率分割程序执行时,首先需要确定待分割影像各图层的权值,然后设置尺度参数,光谱(颜色)和形状异质性计算的权值,紧密度和平滑度的权值^[10]。这些设置参数都与分割生成的影像区域大小范围紧密相关。其中,尺度参数对分割生成的影像区域大小直接正相关,影响最明显。在其他参数设置相同的情况下,尺度参数越大,生成的影像分割区域越大。本试验研究中,为了更有效地分离植被类,使用 NDVI 二值掩膜影像限制分割过程中的区域增长过程。该 NDVI 掩膜通过对双峰式分布的直方图进行阈值操作,然后,滤除小于 10 个像元的小区域得到。图 1 右为试验处理中采用的分割结果影像。

2.3 基于光谱的最近邻分类

最近邻监督分类基于影像对象与代表性样本对象在多维特征空间的特征距离确定地物类别^[10]。本研究中,每一类的代表性样本对象采用分层随机取样方法来选择。对分割后的影像对象执行基于光谱的最近邻监督分类,包括:不透水性地面、阴影、植被、裸地和水体等(图2(a))。对分类结果进行精度评价表明,总精度达 98.7%,其中不透水性地面类生产者精度达 100%,用户精度达 98.6%。本研究重点是建筑物分类提取,因此,再把基于光谱的最近邻监督分类图进行制图综合,合并阴影、植被、裸地和水体类为其他类,最后获得不透水性地面类和其他类分布图(图2(b))。当获得了基于对象的不透水性地面分类结果后,随后便可应用模糊逻辑知识规则来进一步区分建筑物屋顶对象。

2.4 基于知识规则的模糊逻辑分类

基于知识规则的模糊逻辑分类器通过成员函数值来表达影像对象的地类隶属度^[11]。成员函数是表达影像对象特征值与地类隶属度之间关系的数学模型。当对象特征值增大,地类隶属度也增大时,利用上升型函数来表达。相反,当对象特征值增大,地类隶属度降低时,利用下降型函数来

表达。本研究中,地类 x 隶属度 μ_x 采用 Sigmoid (S 型) 成员函数曲线来表示(图 3)。

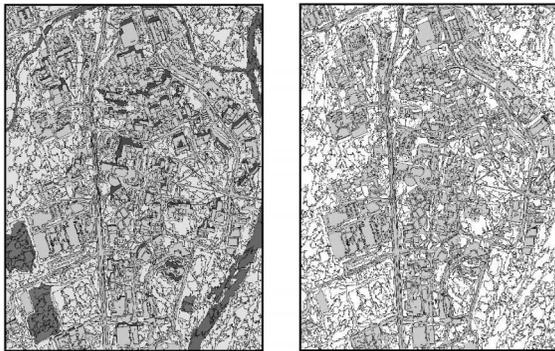
上升 S 型函数

$$\mu_x = S(i; a, b, c) \quad (1)$$

下降 S 型函数

$$\mu_x = 1 - S(i; a, b, c) \quad (2)$$

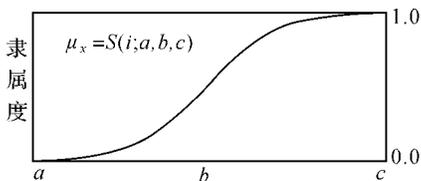
其中, a 是当隶属度为 0 或 1 时对象属性 i 的特征值; b 是当隶属度为 0.5 时对象属性 i 的特征值 $b = (a + c) / 2$; c 是当隶属度为 1 或 0 时对象属性 i 的特征值。



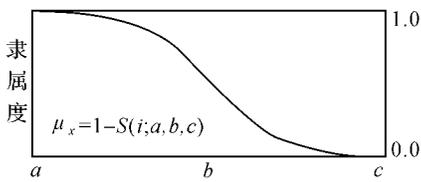
(a) 未进行分类合并分类图 (b) 进行了类合并的分类图

图 2 最近邻监督分类图

Fig. 2 Nearest neighbour classification map



(a) 上升型



(b) 下降型

图 3 S 型成员函数曲线

Fig. 3 Sigmoid (S-shaped) membership functions

模糊逻辑分类器可以给每个对象计算多个不同地类的隶属度,从而可以使对象的分类不限于某一类,而是可以属于多个类别。基于知识规则的模糊分类方法在成员函数表达的知识规则之间利用布尔逻辑操作符“and”或“or”,或者它们的组合来表达分类知识,最终可获得影像对象对于所

有地类的隶属度。通常情况下,把计算获得的最高隶属度地类作为最终的分类结果进行输出,即可获得常规的土地利用/覆盖遥感分类图。

通过统计样本对象的特征值频率分布,选择建筑物屋顶类的代表性光谱、空间、纹理和上下文属性特征,然后用 Sigmoid 成员函数来计算这些代表性特征指示的隶属度。模糊逻辑知识规则中成员函数的方向和控制点利用样本对象特征值分布的概要统计值(如平均值、最小值或最大值加上或减去标准差等)和这些特征值类间分离性来确定。本研究中,选择的代表性对象特征及所应用的模糊逻辑知识规则列于表 1,关于对象特征的概念和具体计算可以参见文献[10, 12]。

表 1 模糊逻辑知识规则

Tab. 1 Fuzzy logic rule base

序号	规则描述
1	对于“不透水性地类”的每一个影像对象,如果特征“全波段标准差”成员函数值高,且特征“多波段标准差”成员函数值高,且特征“长度”成员函数值高,且特征“紧密度”成员函数值高,且所有多光谱波段特征“GLCM 对比度”成员函数值高,则“建筑物屋顶类”隶属度高,否则“非建筑物屋顶类”隶属度高。
2	对于经规则一分类后“建筑物屋顶类”的每一个影像对象,如果特征“至相邻屋顶类对象距离”成员函数值高,或者特征“相邻屋顶类对象数量”成员函数值高,或者特征“与相邻屋顶类对象相对边界”成员函数值高,或者特征“与相邻非屋顶类对象相对边界”成员函数值高,则“建筑物屋顶类”隶属度高,否则“非建筑物屋顶类”隶属度高。
3	对于经规则二分类后“建筑物屋顶类”的每一个影像对象,如果特征“近红外波段与场景比率值”成员函数值高,且特征“蓝波段比率值”成员函数值高,且特征“红波段比率值”成员函数值高,则“建筑物屋顶类”隶属度高,否则“非建筑物屋顶类”隶属度高。

2.4.1 知识规则一

尽管屋顶材料组分多样,光谱响应离散,但“非建筑物屋顶类”却表现出几乎连续的光谱响应,这种光谱变化差异可以通过光谱标准差来反映。此外,屋顶对象呈现出一定程度的局部色调变化,而这可以通过纹理特征参数来表征。再有,空间上屋顶类对象在长度和紧密度特征上比其他

的不透水性地面类更统一。综合上述分析, 结合对“建筑物屋顶类”和“非建筑物屋顶类”样本对象特征值的统计分析比较, 确定如下5个独立的代表性属性(光谱、纹理和空间)特征来进一步区分“建筑物屋顶类”:

1. 全色波段标准差(σ_p): 指影像对象所有像元在全色波段的灰度值的标准差。对于每个影像对象, σ_p 采用如下公式计算

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} \quad (3)$$

其中, C_i 是由 n 个像元组成的对象内部像元 i 的灰度值; \bar{C} 是所有像元的平均灰度值。

2. 多光谱标准差(σ_m): 指每个多光谱通道影像对象所有像元灰度值的标准差的平均值。对于每个影像对象, σ_m 采用如下公式计算

$$\sigma_m = \frac{1}{n_L} \cdot \sum_{L=1}^{n_L} \sigma_L \quad (4)$$

其中, σ_L 是指影像对象 L 波段所有像元的标准差; n_L 是波段数。

3. 全方向纹理对比度特征(P_{cov}): 由 Haralik 发展的通过灰度共现矩阵 (grey-level co-occurrence matrix, GLCM) 计算的影像对象局部变化的一种纹理特征。当影像对象在空间尺度上具有较高的对比度时, 可以通过 GLCM 把纹理对比度特征计算出来。对于第 L 光谱通道的纹理对比度特征, 其计算式为

$$P_{cov_L} = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (i-j)^2 \quad (5)$$

$P_{i,j}$ 是归一化后的 GLCM 矩阵中元素 (i, j) 处的值。本研究中计算了蓝、绿、红和近红外四个通道的纹理对比度特征。

4. 长度(l): 指包围影像对象的与影像的纵横轴平行的矩形计算而来的, 以像元为单位表示

$$l = \sqrt{a^2 + ((1-f)b)^2} \quad (6)$$

其中, a 是矩形的长边; b 是最短边; f 是填充度, 是指影像对象的像元组成数除以矩形的总面积 $a \times b$ 。

5. 紧密度(κ): 通过影像对象的近似椭圆计算。对于每个影像对象, κ 采用如下公式计算

$$\kappa = v \cdot w / \alpha \quad (7)$$

其中, v 和 w 表示椭圆的长轴和短轴的长度; α 是包含在近似椭圆内的像元数。

本研究中, 统计分析表明屋顶类隶属度随着上述5个对象特征值的增大而降低, 因此, 知识规

则一的每个特征成员函数都用下降的 S 型曲线来表示。此外, 屋顶类全色波段标准差(σ_p)、多光谱标准差(σ_m)、长度(l)、紧密度(κ)、全方向纹理对比度特征(P_{blue} 、 P_{green} 、 P_{red} 和 P_{nir}) 的最大特征值小于非屋顶类特征值的平均值减去标准差, 据此, 确定各特征成员函数的控制点值: a 为非屋顶类样本对象特征值的平均值减去标准差; b 为非屋顶类样本对象特征值的平均值; c 为非屋顶类样本对象特征值的平均值加上标准差。如全色波段标准差(σ_p)特征, 其成员函数控制点值为: $a=310.77$, $b=337.18$, $c=363.59$ 。

2.4.2 知识规则二

由于材料组分、坡度或坡向不同, 分割后的影像中屋顶和非屋顶区域通常由多个影像对象组成。因此, 屋顶类对象更有可能与屋顶类对象相邻, 同样, 非屋顶类对象更有可能与非屋顶类对象相邻。再者, 在城区环境下, 屋顶类对象一般更接近其他的屋顶对象。因此, 这第二条知识规则, 即结合了描述屋顶和非屋顶类对象相邻关系的上下文特征, 用来再对分类结果进行优化。采用的特征描述如下:

1. 与相邻对象的相对边界(B): 影像对象和某确定类对象的共同边界长度(以像元计)与影像对象边界总长度之比。此处, 计算相邻屋顶类和非屋顶类的相对边界。

2. 与相邻对象的距离(D): 指从影像对象的中心至最近的确类(建筑物屋顶类)影像对象中心的像元距离。

3. 邻近对象的数量(N): 距影像对象中心一定距离范围内某一特定类影像对象(屋顶类)的数量。研究中确定10个像元的距离值。

本研究中, 统计分析表明屋顶类隶属度随着与相邻(非屋顶类)对象的相对边界和与相邻对象(屋顶类)的距离两种对象特征值的增大而降低, 因此, 这两个特征的成员函数表达为下降 S 型曲线。此外, 屋顶类这两种特征的平均对象特征值加上标准差小于非屋顶类平均对象特征值加上标准差, 据此, 确定两特征成员函数的控制点值: a 为屋顶类样本对象特征值的平均值加上标准差, c 为非屋顶类样本对象特征值的平均值加上标准差。

统计分析表明屋顶类隶属度随着与相邻(屋顶类)对象的相对边界和与邻近对象(屋顶类)的数量两种对象特征值的增大而增大, 因此, 这两个特征的成员函数表达为上升 S 型曲线。此外, 屋

顶类这两种特征的平均对象特征值减去标准差大于非屋顶类平均对象特征值加上标准差, 据此, 确定两特征成员函数的控制点值: a 为非屋顶类样本对象平均特征值加上标准差, c 为屋顶类样本对象特征值的平均值减去标准差。

2.4.3 知识规则三

尽管许多屋顶对象和非屋顶不透水性对象光谱上相似, 非屋顶不透水性对象相对于整个城区场景在多光谱通道上还是表现出一些不同的光谱响应。通过对屋顶和非屋顶样本对象一些光谱比值特征的统计比较, 两个独立的代表性的描述非屋顶类对象的有效的光谱属性特征被确定用来进一步优化过度分类的屋顶类对象。

1. 与场景比率(R_L): 第 L 层相对于场景的比率就是 L 层影像对象所有像元的平均值与 L 层整个场景所有像元的平均值之比。

$$R_L = \bar{C}_{L,object} / \bar{C}_{L,scene} \quad (8)$$

其中, $\bar{C}_{L,object}$ 是 L 层影像对象所有像元的平均值; $\bar{C}_{L,scene}$ 是 L 层整个场景所有像元的平均值。本研究中, 计算了近红外波段的 R_L 。

2. 比率(r_L): 第 L 层的比率是影像对象所有像元的平均值与该对象所有光谱层平均值总和之比。

$$r_L = \bar{C}_L / \sum_{i=1}^{n_L} \bar{C}_i \quad (9)$$

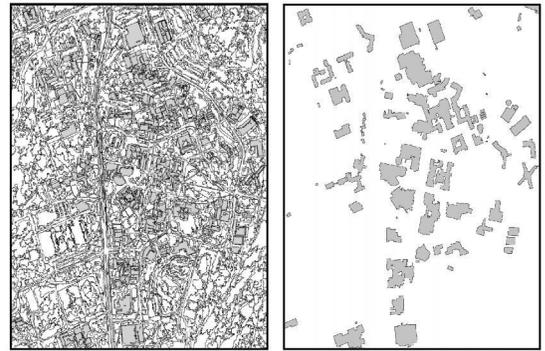
其中, \bar{C}_L 是第 L 层影像对象所有像元平均值; \bar{C}_i 是影像对象第 i 层所有像元的平均值。本研究中, 计算了蓝和红波段的 r_L 。

统计分析表明屋顶类隶属度随着近红外波段与场景比率特征值的增大而增大, 因此, 这个特征的成员函数表达为上升 S 型曲线。此外, 非屋顶类的近红外波段与场景比率特征的平均对象特征值减去标准差大于屋顶类平均对象特征值加上标准差, 据此, 确定该特征成员函数的控制点值: a 为屋顶类样本对象特征值的平均值加上标准差, c 为非屋顶类样本对象特征值的平均值减去标准差。

统计分析表明屋顶类隶属度随着蓝波段比率特征和红波段比率特征两种对象特征值的增大而降低, 因此, 这两个特征的成员函数表达为下降 S 型曲线。此外, 非屋顶类的蓝和红波段比率特征的平均对象特征值加上标准差小于屋顶类平均对象特征值减去标准差, 据此, 确定两特征成员函数的控制点值: a 为非屋顶类样本对象的平均特征

值加上标准差, c 为屋顶类样本对象平均特征值减去标准差。

图 4(a) 为最终基于知识规则的模糊逻辑分类图, 后分类过程融合邻近的分类对象建筑物屋顶类和其他类, 从而生成可表示建筑物屋顶边界和位置的建筑物分布图(图 4(b))。最后, 对分类结果进行逐对象分类精度评估。混淆矩阵计算结果显示, 城区建筑物分类提取总精度达到 93%。



(a) 分类图

(b) 基于分类融合提取的屋顶多边形

图 4 模糊逻辑建筑物屋顶分类提取结果

Fig. 4 Building mapping results of rule based classification

3 结论与讨论

本文发展了一种从高分辨率多光谱 IKONOS 卫星融合影像上基于知识规则的面向对象提取城区建筑物的方法。处理流程可分为两大步: 第一步, 对分割的影像对象层执行基于对象光谱的监督最近邻分类, 区分出不透水地类; 第二步, 采用监督方法生成知识规则应用于模糊逻辑分类器中, 从不透水地类中区分出城区建筑物屋顶类。这种方法利用模糊逻辑知识规则, 借助监督样本对象的概要统计获得光谱、空间、纹理和上下文特征及成员函数控制点值, 不需要辅助数据, 并且在分类中不必再对建筑物屋顶类之外的其他不透水性地面类再细分。本文试验研究表明, 采用本方法流程进行高分辨率多光谱城区建筑物提取可以取得较高的精度(如本试验研究取得了 93% 的城区建筑物分类提取总精度)。因此, 本方法流程具有灵活性和一定的实用性, 对于应用面向对象分类方法提取较复杂的城区建筑物, 可以提供借鉴和参考。

需要指出的是, 由于加拿大相对于中国的城区环境较为简单, 因此, 如果用中国的城区数据进

行试验和验证, 分类精度上可能有所降低; 而且本方法流程也不能提取城区高大建筑物阴影或遮挡区域中的低、矮、小建筑物。此外, 为了获得地面建筑物较准确的地理位置和形状, 所处理的高分辨率遥感影像数据是经过辐射和几何精纠正后的地理参考正射影像, 因此, 最终分类提取的建筑物分布图中, 建筑物的形状和位置具有地理位置坐标。而如果将最后提取出的建筑物屋顶分类图与该区已有的地理信息系统中的建筑物矢量多边形参考图进行叠加对比, 就可以定量评价最终提取的建筑物分布图中建筑物形状与参考图对应建筑物的符合程度, 并可定量计算建筑物边界位置误差和形状差异程度。但本研究仅仅是评价了最终的建筑物分类提取精度, 对建筑物形状与边界位置符合精度进行定量评价有待进一步深入研究。致谢: IKONOS 卫星影像试验数据由加拿大西安大略大学地理系提供; 感谢 David Andrew Aldred 在数据处理试验中提供的帮助。

参考文献:

- [1] DAVIS C H, WANG X Y. Urban Land Cover Classification from High Resolution Multi-spectral IKONOS Imagery [C] // Proceedings of IEEE IGARSS. Toronto: [s. n.], 2002: 1204-1206.
- [2] HEROLD M, GARDNER M, ROBERTS D. Spectral Resolution Requirement for Mapping Urban Areas [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(9): 1907-1919.
- [3] FRAUMAN E, WOLFF E. Segmentation of Very High Spatial Resolution Satellite Images in Urban Areas for Segments-based Classification [C] // Proceedings of the 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas. Arizona: ISPRS, 2005: 24-27.
- [4] BAUER T, STEINNOCHER K. Per-parcel Land Use Classification in Urban Areas Applying a Rule-based Technique [J]. Geoinformation System, 2001(6): 28-33.
- [5] HEROLD M, SCEPAN J, MÜLLER A, et al. Object-oriented Mapping and Analysis of Urban Land Use/Cover Using IKONOS Data [C] // Proceedings of the 22nd EAR-

SEL Symposium. Prague: EARSEL, 2002: 11-18.

- [6] HOFMANN P. Detecting Urban Features from IKONOS Data Using Additional Elevation Information [J]. GIS Geoinformation System, 2001, 6: 28-33.
- [7] SHACKELFORD A, DAVIS C. A Combined Fuzzy Pixel-based and Object-based Approach for Classification of High-resolution Multi-spectral Data over Urban Areas [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(10): 2354-2363.
- [8] LIU J. Smoothing Filter-based Intensity Modulation: a Spectral Preserve Image Fusion Technique for Improving Spatial Details [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(18): 3461-3472.
- [9] BAATZ M, SCHAPE A. Multi-resolution Segmentation: an Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmentation [C] // Proceedings of the Angewandte Geographische Informationsverarbeitung Symposium. Salzburg: [s. n.], 2000: 12-23.
- [10] Trimble Navigation Limited. ECognition User Guide, Definiens Imaging [EB/OL]. [2004-10-12]. <http://www.definiensimaging.com>.
- [11] BARDOSSY A, SAMANIEGO L. Fuzzy Rule-based Classification of Remotely Sensed Imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(2): 362-374.
- [12] CARLEER B, WOLFF E. Urban Land Cover Multi-level Region-based Classification of VHR Data by Selecting Relevant Features [J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(6): 1035-1051.

(责任编辑: 宋启凡)

收稿日期: 2009-11-04

修回日期: 2010-04-20

第一作者简介: 谭衢霖(1975—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为高分辨率遥感影像处理与地物信息提取、交通遥感应用。

First author: TAN Qulin (1975—), male, PhD, associate professor, majors in high resolution remote sensing image processing and information extraction, application of remote sensing in transportation.

E-mail: qulintan@sina.com