doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.044

基于高分辨率遥感影像分类的城镇土地利用规划监测*

张　超[1]　李智晓[1]　李鹏山[1]　杨建宇[1,2]　朱德海[1,2]

(1.中国农业大学信息与电气工程学院,北京 100083;2.国土资源部农用地质量与监控重点实验室,北京 100035)

摘要:城镇土地利用规划是城镇化健康有序推进的基础,规划实施监测是其实施的保障。遥感和 GIS 相结合的方法可快速监测城镇土地利用规划实施情况,保障土地利用规划实施的动态管理。利用 0.5 m 分辨率的 WorldView-2 卫星遥感影像,采用面向对象的影像分析方法,针对基于知识规则分类特征选取及阈值确定难点,将 CART 决策树与面向对象分类方法结合,实现参与分类最优对象特征的选择以及特征阈值的自动确定。在分类基础上,对每个规划图斑计算地类规划实施完成率,实现对土地利用规划实施过程进行监测评价。最后,以北京市房山区某区域为研究区,进行了试验验证。结果表明:最终分类总体精度达 0.89,Kappa 系数为 0.87,表明构建的分类算法基本能满足城镇土地利用规划监测的需求。研究区东北部土地利用规划实施情况比西部好,公共绿地、水域等地类需重点调查监测,同时二类居住用地的建筑密度偏高,绿化率偏低。

关键词:城镇土地利用规划　监测　高分辨率遥感影像　WorldView-2　面向对象分类　CART 决策树

中图分类号:TP79;F301.23　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2015)11-0323-07

Urban-rural Land Use Plan Monitoring Based on High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery Classification

Zhang Chao[1]　Li Zhixiao[1]　Li Pengshan[1]　Yang Jianyu[1,2]　Zhu Dehai[1,2]

(1. *College of Information and Electrical Engineering*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*

2. *Key Laboratory for Agricultural Land Quality*, *Monitoring and Control*, *Ministry of Land and Resources*, *Beijing* 100035, *China*)

Abstract: Urban-rural land use plan is the foundation of healthily and orderly sustainable development of urbanization and the monitoring of plan implementation is considered as the guarantee. The association of remote sensing and GIS is one of rapid and effective monitoring method for urban-rural land use plan implementation which strongly strengthens the dynamic management of land use plan implementation. We used high spatial resolution remote sensing imagery—WorldView-2 with resolution of 0.5 m and the object-oriented image analysis method to achieve the classification. The features and thresholds were determined with CART decision tree in object-oriented rule classification. On the basis of classification results, the completion rate of land plan for each plan patch was computed with the monitoring and evaluation of land use plan implementation. Finally, a subdistrict of Fangshan District, Beijing City was taken as the study area to illustrate the method. The results showed that the final overall accuracy of classification was 0.89 and Kappa coefficient was 0.87. The proposed classification algorithm can meet the basic needs of urban-rural land use plan monitoring. The implementation of land use plan in northeast study area is better than that in the west. The public green land and water area need to be investigated and monitored further as the key objects, at the same time, the density of second type residential building is a little high, while the green landrate is low.

Key words: Urban-rural land use plan　Monitoring　High spatial resolution remote sensing imagery　WorldView-2　Object-oriented classification　CART decision tree

收稿日期:2015-04-21　修回日期:2015-06-04

*北京市科技计划资助项目(Z141100000614001)

作者简介:张超,教授,博士生导师,主要从事农业与国土资源监测研究,E-mail:zhangchaobj@cau.edu.cn

引言

当前我国正处于快速城镇化过程中,城镇土地利用规划可指导区域一定时期城镇化的健康有序推进,而规划实施的监测和管控是重要环节[1]。监测土地利用结构的合理性、土地利用规划目标的实现程度,既能推动土地利用规划的正常实施,又能确保土地利用规划的正确实施[2-3]。

构建城镇土地利用规划监测评价指标是快速有效监测的重要措施。一般来讲,土地利用规划实施评价指标分为两类,一类为效果指标,另一类为执行指标。效果指标是指土地利用总体规划实施后所产生的社会、经济和生态效益,同时也包括社会公众对土地利用总体规划的认知程度;执行指标是指土地利用总体规划实施过程中,关键指标的落实完成情况以及违反规划事件的频率、处置率[4]。以往土地利用规划的评价偏重于规划实施的效果指标,而今实施执行也越来越得到学者的重视[5-6]。遥感和 GIS 相结合是监测与分析土地利用变化的方向、速度、格局的有效方法。国内学者同时也提出将常规监测与遥感监测相结合,加强土地利用规划实施的动态管理[7-9]。利用遥感技术可快速获取区域土地利用现状情况,进一步监测城镇土地利用规划实施过程中质与量、规模及用地布局是否合理等[10],特别是高空间分辨率遥感,已经在城镇规划监管中发挥重要作用。但其土地利用信息的获取大多还处于人工解译阶段,自动化程度较低,工作量较大[10-13]。

面向对象影像分析法是适合高空间分辨率遥感数据的分类方法[14]。基于知识规则的决策树分类方法,具有分类规则明晰、分类过程人工干预少等优点。同时,决策树算法适合遥感数据特征复杂和各维特征统计分布不同等情形的分类问题。在基于知识规则面向对象分类时,对象包含了光谱、纹理、形状等大量特征,因此特征选择与阈值确定是分类的关键。而 CART 决策树算法能实现特征的选择及阈值的自动确定,目前相近领域已经开展了相关研究[15-16]。

针对土地利用规划实施过程中的执行效果评价,本文以街区为研究单位,利用高分辨率的 WorldView-2 卫星遥感影像,将 CART 决策树算法与面向对象分类方法相结合,自动构建影像对象的分类规则,在分类的基础上,通过计算地类规划实施完成率,从主要地类规划实施、二类居住用地内部结构等方面,评价研究区土地利用规划实施情况。

1 研究区数据源概况

研究区位于北京市房山区青龙湖镇东南部,该镇 2007 年 9 月镇域总体规划获北京市规划委员会批准,2008 年 5 月中心区控制性详细规划获北京市规划委员会批准,属于城镇化建设的重点区,是开展城镇土地利用规划实施监测评价研究的理想试验区。

本文利用 2010 年 12 月 15 日研究区的 WorldView-2 遥感数据,全色波段空间分辨率为 0.5 m,多光谱波段空间分辨率为 2 m,包括蓝、绿、红和近红外 4 个波段数据;此外收集了研究区的第 2 次全国土地调查图和土地利用规划图等专题图件。研究区及数据如图 1 所示。

2 研究方法

本文利用面向对象影像分析技术,采用多尺度分割,利用光谱、纹理、几何及指数特征,基于 CART 决策树自动获取分类规则,最后将分类结果与城镇土地利用规划图套合,利用本文构建的城镇土地利用监测指标——地类规划实施完成率,实现对研究区城镇土地利用规划实施地监测与评价,具体技术流程如图 2 所示。

2.1 基于 CART 决策树的面向对象分类

在面向对象分类过程中,有效组织和利用对象的多特征及确定特征阈值,并构建高效分类模型是关键[16]。分类回归树算法(Classification and regression trees, CART)由 Breiman 等于 1984 年提出[17],是通过对由测试变量和目标变量构成的训练数据集的循环分析,采用二分递归分割的技术,利用基尼系数将当前的样本集分为 2 个子集,使得生成的每个非叶子节点都有 2 个分支[18],形成二叉树决策树。将 CART 决策树引入面向对象知识规则分类,可充分利用 CART 决策树自动数据挖掘分析,从而有效选择决策树不同节点的特征并确定阈值。

2.2 基于分类的土地利用规划实施效力评价

根据高分辨率遥感影像分类结果,结合土地利用规划图,以城镇土地利用规划地块图斑为基本单元,构建规划实施完成率指标 S,对城镇土地利用规划实施进行评价,S 计算式为

$$S = \frac{A_a}{A_b} \times 100\% \tag{1}$$

式中 S——规划实施完成率

A_a——分类后对应地类面积

A_b——规划地块图斑面积

研究区土地利用规划类型包括:公共绿地、二类居住用地、商业金融用地、道路、水域、科教用地、其他市政公共设施用地、其他交通设施用地、行政办公用地、社会停车场库用地等,主要为城镇居住用地及

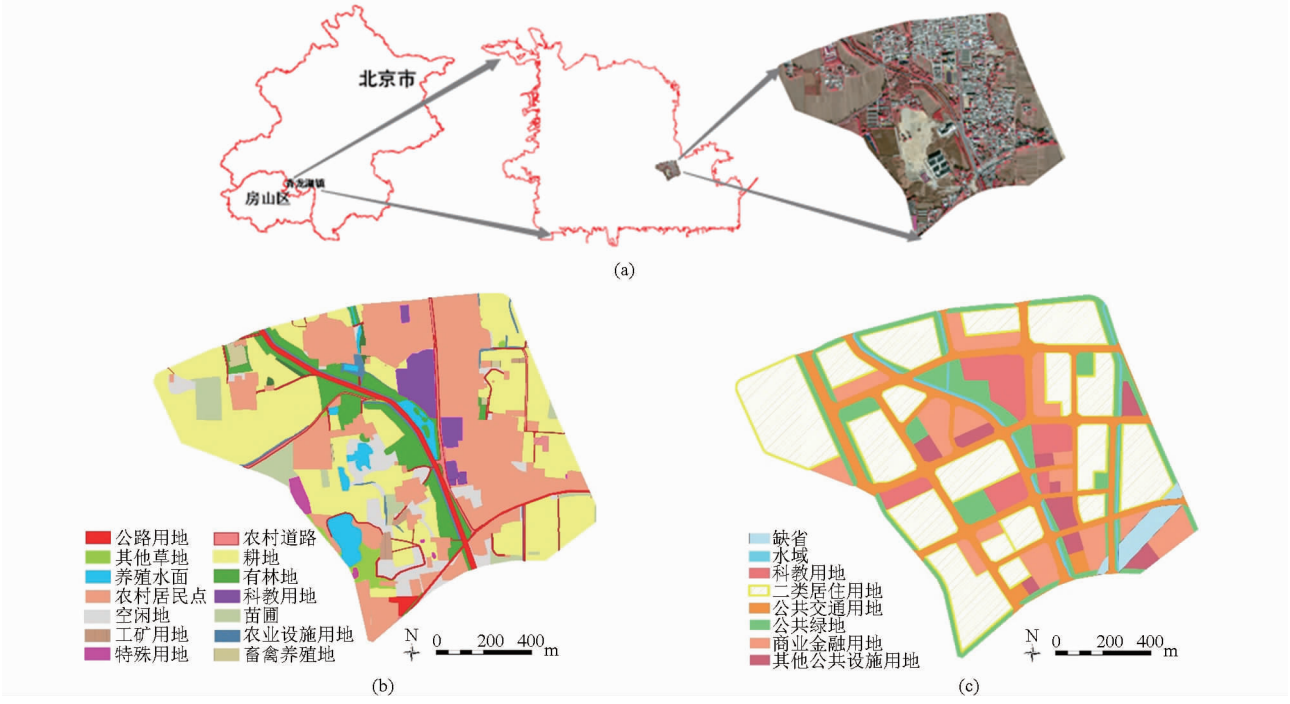

图 1　研究区示意图

Fig. 1　Study area

（a）研究区与试验影像　（b）二调土地利用图　（c）城镇土地利用规划图

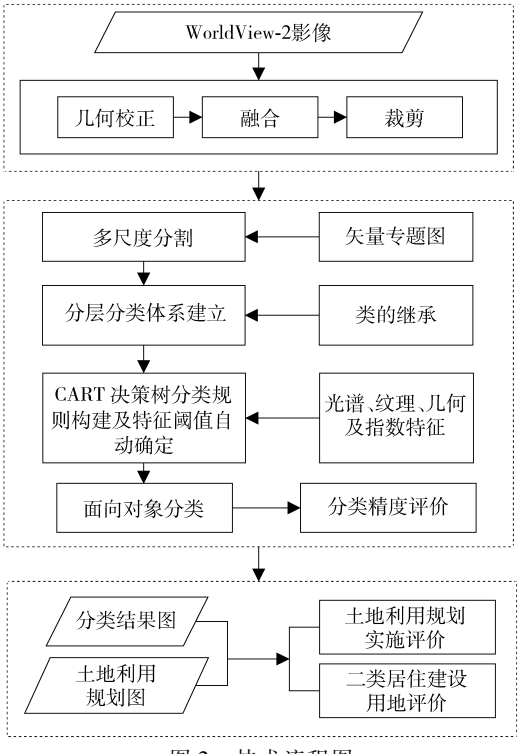

图 2　技术流程图

Fig. 2　Technique flowchart

其配套设施。本文针对研究区的实际情况，在高分遥感影像面向对象分类的基础上，根据城镇规划监测分析的需要，将草地、有林地及苗圃合并成公共绿地，公园与绿地、楼房、地面及操场等合并成二类居住用地及其配套设施用地，重点监测二类居住用地、公共绿地、水域等地类。

3　试验与结果分析

3.1　面向对象分类及 CART 决策树规则建立

3.1.1　面向对象类层次构建

本文采用多尺度分割算法，建立 3 层分割体系。影像分割后形成分类基本对象单元。利用不同尺度下影像对象层之间的继承关系，对非目标地类对象掩膜，排除其对目标地类的影响。利用类别间的语义关系和拓扑信息，在更小尺度上细分目标地类，提高分类精度和效率[19-20]。本文构建的对象地类层次结构如图 3 所示，为 3 层次的分类体系。第 1 级分类时，引入研究区的二调矢量数据作为专题图层，解决道路提取中，行道树及其阴影产生的断点问题。第 2 级分类继承第 1 级中的建筑地类并进行细分。第 3 级分割对象直接继承第 1、2 级对象的属性，并对地类进一步细分。

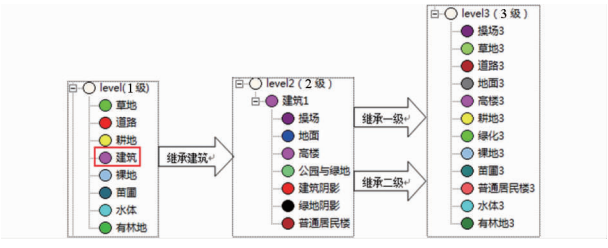

图 3　分类体系结构图

Fig. 3　Hierarchical system of classification

3.1.2　分类决策树构建

参与对象分类的特征集包括光谱特征：图层贡

献率 R(第 L 层的贡献率,是一个影像对象的第 L 层的平均值除以所有光谱层的平均值的总和),标准差,平均差分;形状特征:椭圆拟合,形状指数;纹理特征:灰度共生矩阵(Gray level co-occurrence matrix,GLCM)非相似性;专题指数特征:归一化差值植被指数(Normalized difference vegetation index,V_{NDVI})及自定义特征 V_{Lee}。其中

$$V_{NDVI}=\frac{R_{NIR}-R_{RED}}{R_{NIR}+R_{RED}} \tag{2}$$

$$V_{Lee}=\frac{R_{RED}-R_{GREEN}}{R_{GREEN}+R_{BLUE}} \tag{3}$$

式中 R_{NIR}——近红外波段反射率

R_{RED}——红色波段反射率

R_{GREEN}——绿色波段反射率

R_{BLUE}——蓝色波段反射率

在第 2 级分类过程中,由于阴影不是最终类别,所以先将阴影分成建筑阴影和绿地阴影,最后将建筑阴影归到地面类,绿地阴影归到小楼房类。

样本特征数据集是决策树算法的基础,其中包含各类训练样本的特征值及类别属性。CART 决策树以类别属性作为分类目标,利用各类样本的特征差异,进行决策树节点划分及阈值自动计算。本文通过训练样本集构建的 CART 决策树如图 4 所示,其中实线代表是,虚线代表否。

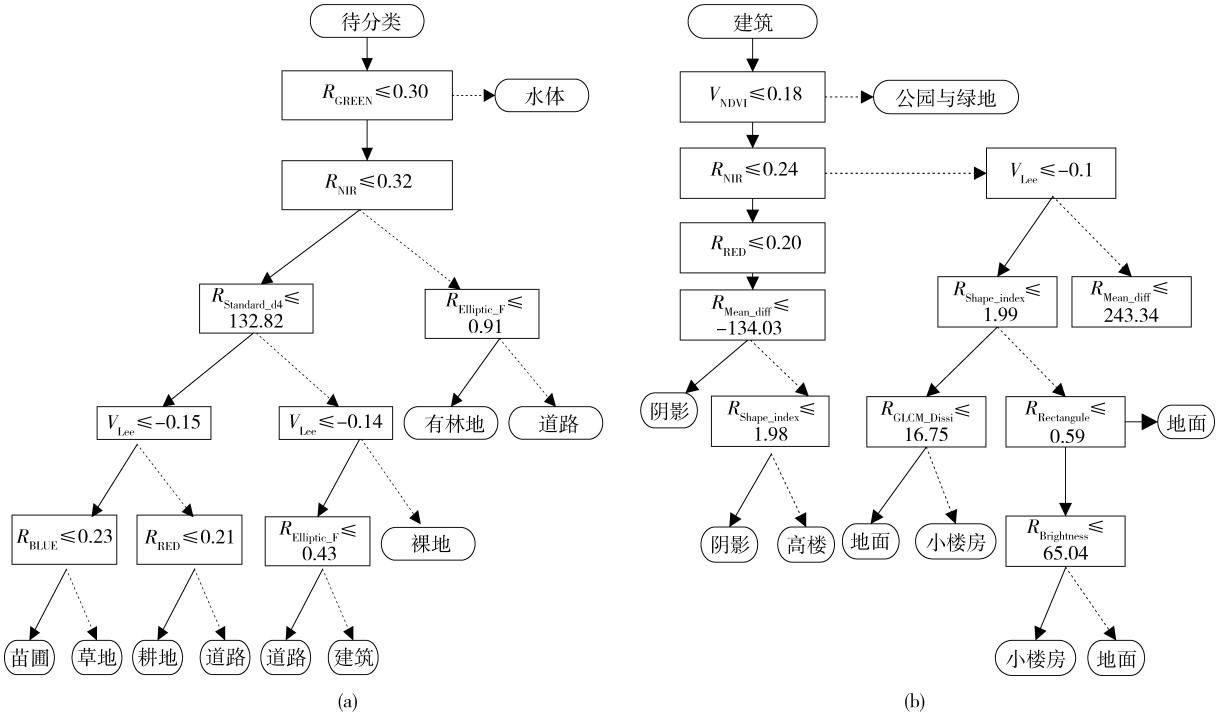

图 4 第 1、2 级决策树

Fig. 4 Decision tree of level 1 and level 2

(a) 第 1 级 (b) 第 2 级

在第 1 级分类中,分类对象多为植被,此时光谱特征贡献大,但对于道路类,形状指数是重要特征。在第 2 级分类结果中,地面与楼房之间的光谱差异较小,但可综合利用形状指数和纹理指数。这说明在大尺度上,类间光谱差异大,光谱特征贡献率大;在光谱差异小的小尺度上,形状特征及纹理特征更有效。

3.2 分类结果及精度评价

基于 CART 决策树的面向对象影像分析法,利用本文制定的对象分类层次规则,得到相应的分类结果,各级分类结果如图 5 所示。

图 5a 为 1 级分类结果,包括了草地、耕地、道路、建筑、裸地、苗圃、水体及有林地等地类。图 5b 为建筑物地类进一步细分的结果,分为操场、地面、居民楼、公园与绿地及阴影等地类。通过 2 级分类,根据城镇土地利用规划分类体系,最终形成城镇规划遥感监测地类,如图 5c 所示。最后,以研究区第 2 次全国土地调查数据结合遥感影像目视解译作为真值,如图 6 所示,选取不同类型地类样本,对最终分类结果进行精度评价,如表 1 所示。分类总体精度达 0.89,Kappa 系数为 0.87,由于高楼与普通居民楼的光谱、几何差异小,导致高楼的分类精度低。以上表明本文构建的分类算法基本能满足城镇土地利用规划监测的需求。

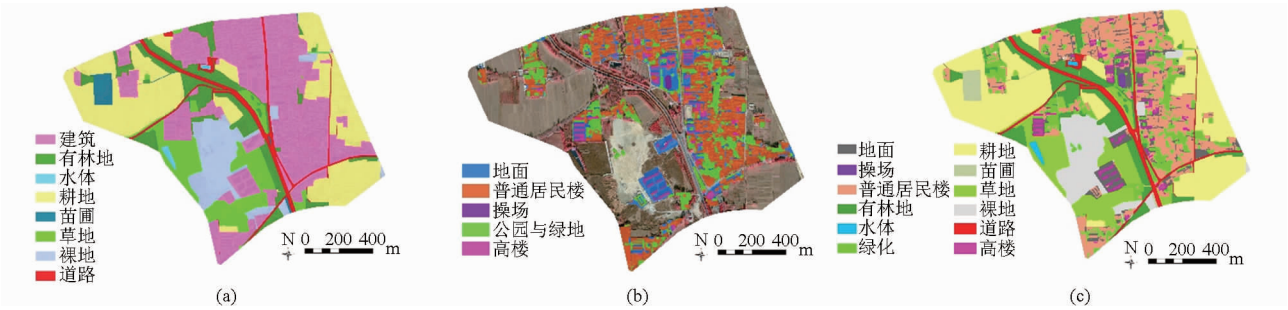

图 5　各级分类结果示意图

Fig. 5　Classification results for each level

（a）1 级分类结果　（b）2 级分类结果　（c）最终分类结果

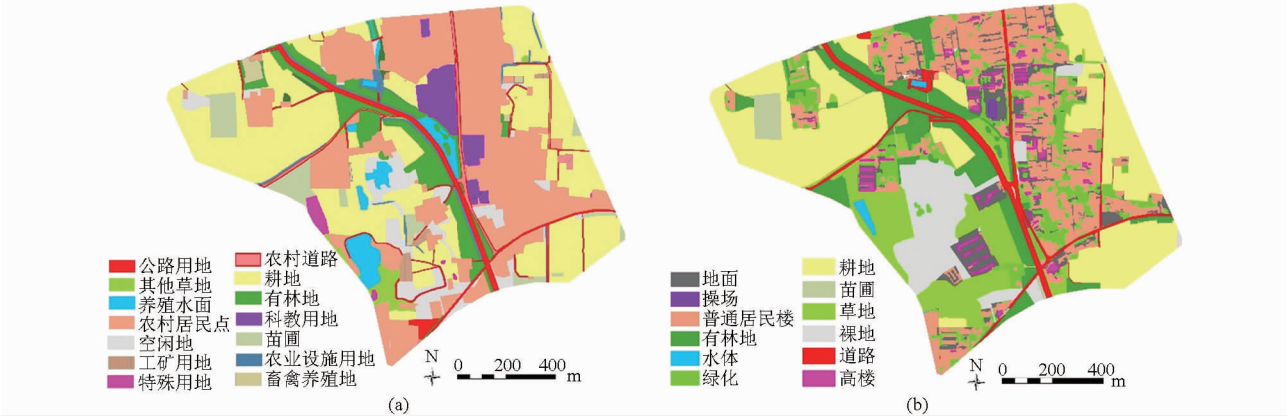

图 6　二调结果与分类结果对比

Fig. 6　Contrast results between second national land survey and classification

（a）二调土地利用图　（b）最终分类结果图

表 1　分类精度评价

Tab. 1　Evaluation of classification accuracy

指标	耕地	道路	草地	裸地	苗圃	水体	有林地	高楼	普通居民楼	操场	地面	绿化
生产精度	1	0.91	0.89	0.86	0.71	1	0.91	0.76	0.9	1	0.86	0.85
用户精度	0.98	0.96	0.80	0.88	1	1	0.85	0.89	0.82	1	0.88	0.92
总体精度							0.89					
Kappa 系数							0.87					

3.3　城镇土地利用规划实施监测评价

3.3.1　土地利用规划总体实施结果评价

从整体尺度上掌握城镇土地利用规划总体实施结果有助于了解城镇土地利用规划区域是否平衡，为进一步有针对性地加强土地利用规划实施薄弱区域提供依据。本文根据 WorldView-2 遥感影像分类结果，结合研究区土地利用规划图，得到土地利用规划总体实施完成分布情况，如图 7 所示，结果表明研究区东北部土地利用规划实施情况较好，而西南部土地利用规划实施情况一般，建议加强研究区西部土地利用规划实施监督。

3.3.2　土地利用规划各地类实施结果评价

在掌握了城镇土地利用规划总体实施情况后，进一步对研究区各地类规划实施完成率分析，发现需重点监测和调控对象。研究区主要有公共绿地、

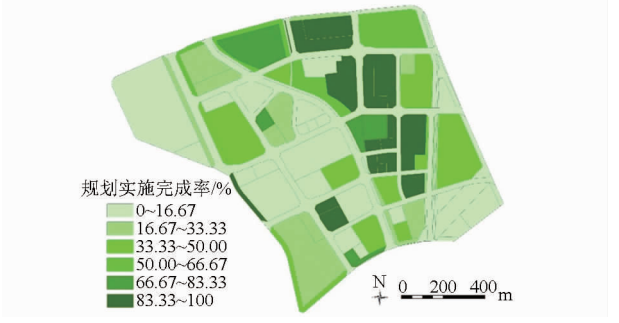

图 7　研究区城镇土地利用规划总体实施效果分布图

Fig. 7　Implementation effect of land use plan

二类居住用地、水域和配套设施等主要地类，各地类的规划面积、占总面积的百分比及其平均规划实施完成率，如表 2 所示。在研究区 100 块图斑中，规划实施完成率超 70% 的有 23 块图斑；在 30% ~70% 之间的 22 块，低于 30% 的 55 块。由于本文采用的

表 2 主要地类规划实施完成率

Tab. 2 Implementation rate of main classes

规划地类	图斑个数	规划面积/m²	占总面积的比例/%	平均规划实施完成率/%
公共绿地	34	200 347.43	13.17	29.12
二类居住用地	18	674 171.87	44.31	44.64
水域	12	24 142.54	1.59	0
配套设施	36	622 817.20	40.93	39.89

遥感数据为冬季采集,水域地类提取不准确,其他 3 类地类平均规划实施率均在 30% ~45%之间。

公共绿地及水域,是调节城镇风景气候环境的重要地类,原则上不应该出现其他地类,尤其是建筑物。对于公共绿地,绿地占 37.43%,建筑物占 15.02%,其他地类占 47.55%。因此公共绿地应是城镇土地利用规划实施进一步重点监测对象。对于水域,建筑物占了 3.25%,水体仅占 0.17%,其他地类占 96.58%,因此也需要重点监测。本文采用的遥感数据获取时间为规划的第 5 年,因此以后应重点监测水域、公共绿地等生态用地。

居民区的建筑密度及绿化程度直接影响居民的生活质量,在高分辨率遥感影像分类的基础上,进一步对二类居住用地的内部结构进行分析。分析研究区内规划实施完成率大于 50% 二类居住用地中的建筑密度及绿化率,如表 3 所示。

根据国家城市建设总局颁发的《城市规划定额指标暂行规定》,居民区的建筑密度一般为 20% ~30%,绿地率不低于 30%。综合考虑这 2 个指标,研究区二类居住用地建筑密度偏高,绿地率偏低。

表 3 二类居住用地图斑建筑密度与绿地率

Tab. 3 Building densities and green land rates of residential land use (type Ⅱ) %

图斑编号	建筑密度	绿地率	规划实施完成率
17	24.80	0.71	99.58
33	76.63	17.10	100
61	73.90	20.98	100
90	64.95	20.31	100
98	51.09	23.80	70.40
104	86.61	2.56	100
109	48.36	10.27	63.89

4 结论

(1) 在面向对象的分类方法中,利用 CART 决策树算法,自动获取决策树各非叶节点的特征选取并确定阈值,建立多级分类体系。充分利用类之间的继承关系,将建筑用地与其他地类分离。针对道路两侧行道树及其阴影使分割后影像容易产生断点现象,引入专题图层参与分割和分类,提高分类精度。尽管光谱特征对分类贡献率大,但形状及纹理特征有利于区分道路、地面、楼房等地类。

(2) 在最终分类总体精度 0.89、Kappa 系数 0.87 基础上,对研究区城镇土地利用规划实施进行总体和地类 2 个层次监测和评价,结果表明,研究区东北部土地利用规划实施情况较好,西部一般,需加强对研究区西部区域的监控;公共绿地与水域等生态用地实施效果差,需重点监测;二类居住用地内部结构,建筑密度偏高,绿化率偏低,需进一步改善和调控。

(3) 本文仅从土地利用角度对研究区进行监测和评价,在与经济、社会与人口等结合的监测评价方面,还有待进一步研究。

参 考 文 献

1 郭垚,陈雯. 区域规划评估理论与方法研究进展[J]. 地理科学进展, 2012,31(6): 768 - 776.
Guo Yao, Chen Wen. Aliterature review of progress in regional plan assessment theory and methodology [J]. Process in Geography,2012,31(6): 768 - 776. (in Chinese)

2 蔡玉梅,谢俊奇,赵言文,等. 2000 年以来中国土地利用规划研究综述[J]. 中国土地科学,2006,20(6): 56 - 61.
Cai Yumei, Xie Junqi, Zhao Yanwen, et al. Review on the research of rand use planning in China since 2000[J]. China Land Science, 2006, 20(6): 56 - 61. (in Chinese)

3 戴建旺,张定祥,左玉强,等. 土地利用规划实施监管研究进展与体系框架建设构想[J]. 中国土地科学,2012,26(7): 91 - 96.
Dai Jianwang, Zhang Dingxiang, Zuo Yuqiang, et al. Research progress and framework development for supervising the implementation of land use plan[J]. China Land Science, 2012, 26(7): 91 - 96. (in Chinese)

4 赵小敏,郭熙. 土地利用总体规划实施评价[J]. 中国土地科学,2003,17(5):35 - 40.
Zhao Xiaomim, Guo Xi. Evaluation of implementation of general land use planning [J]. China Land Science, 2003,17(5):35 - 40. (in Chinese)

5 Baer W C. Generalplan evaluation criteria: an approach to making better plans[J]. Journal of the America Planning Assocition, 1997,63(3):329 - 344.

6 宋建辉,王坤,刘会想. 县域土地利用总体规划实施评价——以涞水县为例[J]. 中国农业资源与区划,2013,34(2):102 - 108.

Song Jianhui, Wang Kun, Liu Huixiang. Assessment on implementation of country-level land use general plan—a case study of Laishui county [J]. Chinese Journal of Agricultural Resourses and Regional Planning, 2013,34(2):102 – 108. (in Chinese)

7 陈若凝. 对土地利用总体规划实施问题的探讨[J]. 中国土地科学,1992,6(4):12 – 14.
Chen Ruoning. Discussion on the implementation of land use general planning[J]. China Land Science,1992,6(4):12 – 14. (in Chinese)

8 叶建成,讯锋. 加强规划实施管理[J]. 中国土地,2000(6):15 – 16.
Ye Jiancheng, Xun Feng. Strengthen the management of planning implementation [J]. China Land, 2000 (6): 15 – 16. (in Chinese)

9 曹伟,周生路,吴绍华,等. 城镇统筹中的土地利用研究进展[J]. 中国农业资源与区划,2013,33(5):8 – 15.
Cao Wei,Zhou Shenglu, Wu Shaohua, et al. Research onland use in urban-rural integrayion[J]. Chinese Journal of Agricultural Resourses and Regional Planning,2013,33(5):8 – 15. (in Chinese)

10 赵哲远,华元春,吴次芳,等. 基于遥感的乡镇级土地利用总体规划实施动态监测技术研究——以杭州市余杭区塘栖镇为例[J]. 中国土地科学,2009,23(7): 43 – 48.
Zhao Zheyuan, Hua Yuanchun, Wu Cifang, et al. Dynamic monitoring techniques for the implementation of township land use plan: a case study of Tangxi Town, Yuhang District, Hangzhou [J]. China Land Science,2009,23(7): 43 – 48. (in Chinese)

11 陈楚,崔龙,王琳. 遥感信息技术在城镇总体规划实施评估中的应用——以天津市津南区为例[J]. 城市勘测,2014(5): 89 – 92.
Chen Chu, Cui Long, Wang Lin. Remote sensing information technology applied to the implementation assessment on the urban-rural master planning—a case study on Tianjin Jinnan district[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying,2014(5): 89 – 92. (in Chinese)

12 熊东旭. 基于遥感技术的城市规划实效性监测评价——以徐州市棠张镇城市总体规划为例[J]. 中国名城,2011(5): 29 – 33.
Xiong Dongxu. Remote sensing information technology applied to the assessment on monitoring the effectiveness of urban planning—a case study of Tangzhang Town, Xuzhou[J]. China Ancient City,2011(5):29 – 33. (in Chinese)

13 张治清,何宗,胡艳,等. 遥感技术支持下的中小城市总体规划实施评估方法研究——以重庆市永川区为例[J]. 规划师,2010(3): 31 – 36.
Zhang Zhiqing, He Zong, Hu Yan, et al. Remote sensing evaluation for small and medium city master plan implementation: a case study of Chongqing Yongchuan district [J]. Planners,2010(3): 31 – 36. (in Chinese)

14 贾坤,李强子,田亦陈,等. 遥感影像分类方法研究进展[J]. 光谱学与光谱分析,2011,31(10): 2618 – 2623.
Jia Kun, Li Qiangzi, Tian Yichen, et al. A review of classification methods of remote sensing imagery [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis,2011,31(10): 2618 – 2623. (in Chinese)

15 Peña-Barragán J M, Ngugi M K, Plant R E, et al. Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology[J]. Remote Sensing of Environment,2011,115(6): 1301 – 1316.

16 王久玲,黄进良,王立辉,等. 面向对象的多时相 HJ 星影像甘蔗识别方法[J]. 农业工程学报,2014,30(11): 145 – 151.
Wang Jiuling, Huang Jinliang, Wang Lihui, et al. Identification of sugarcane based on object-oriented analysis using time-series HJ CCD data[J]. Transactions of the CSAE,2014,30(11): 145 – 151. (in Chinese)

17 Beriman L, Friedman J H, Olshen R A, et al. Classification and regression tree [M]. Monterey: Wadsworth International Group, 1984.

18 陈云,戴锦芳,李俊杰. 基于影像多种特征的 CART 决策树分类方法及其应用[J]. 地理与地理信息科学,2008,24(2): 33 – 36.
Chen Yun, Dai Jinfang, Li Junjie. CART-based decision tree classifier using multi-feature of image and its application [J]. Geography and Geo-Information Science,2008,24(2): 33 – 36. (in Chinese)

19 祖琪,袁希平,莫源富,等. 基于面向对象分类方法在 SPOT 影像中的地物信息提取[J]. 中国岩溶,2011,30(2): 227 – 232.
Zu Qi, Yuan Xiping, Mo Yuanfu, et al. Surface features' information extraction from SPOT images with object-oriented classification method [J]. Carsologica Sinica,2011,30(2): 227 – 232. (in Chinese)

20 仇江啸,王效科. 基于高分辨率遥感影像的面向对象城市土地覆被分类比较研究[J]. 遥感技术与应用,2010,25(5): 653 – 661.
Qiu Jiangxiao, Wang Xiaoke. A comparative study on object-based land cover classification in high spatial resolution remote sensing imagery of urban areas[J]. Remote Sensing Technology and Application,2010,25(5): 653 – 661. (in Chinese)