

# IKONOS 影像在城市绿地提取中的应用

张友水, 冯学智, 都金康, 顾国琴

(南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

**摘要:** 本文以南京城市为例, 重点讨论了基于 IKONOS 影像的城市绿地信息分级分类提取方法, 通过将 IKONOS 多光谱数据合成, 根据各类地物的不同光谱特征, 采取相应的方法提取出各层信息。在此过程中, 仔细分析地物间在 IKONOS 4 个波段中的光谱差异, 非线性增强阴影区绿地的 NDVI 值, 利用光谱差异分层提取、剔除信息, 最后把各分级绿地信息合并得到整体绿地分布图。分级分类法充分考虑各类目标的不同特点, 避免了通常单一分类方法中单纯利用光谱特征所造成的地物混分现象。

**关键词:** 信息提取; 绿地; 归一化植被指数; 混合像元

**中图分类号:** TP79; TU985.12 **文章编号:** 1000-0585(2004)02-0274-07

城市绿地主要包括以园林绿地、街头绿地、道路绿化、居住区绿地、交通绿地、风景区绿地、专用绿地和生产防护绿地等<sup>[1]</sup>。随着城市高速发展, 城市绿地的分布及生态效益和使用功能受到高度重视。为实现城市生态绿地的规划和建设, 需要进行快速、高效、高精度的城市绿地信息提取。目前, 越来越多的城市已将遥感技术应用到绿化统计中, 以提高绿化统计的科学性。本文对 IKONOS 影像中的绿地信息分级分类提取进行研究, 为城市设计、园林规划部门进行城市绿地调查研究提供技术方法与手段。

## 1 概述

高分辨率遥感技术为城市生态环境的监测方法和评价指标的改进提供了有力的支持。获取的城市绿地覆盖信息与其它资料结合可以进行城市绿地空间分布分析评价, 为合理进行城市绿地规划提供决策支持<sup>[2]</sup>。IKONOS 遥感数据有黑白全色波段和多光谱两种数据, 全色波段的分辨率为 1m, 波段范围为 0.45 ~ 0.90 $\mu\text{m}$ , 多光谱数据分辨率为 4 m, 波段分别为: 蓝色波段 (0.45 ~ 0.53 $\mu\text{m}$ )、绿色波段 (0.52 ~ 0.61 $\mu\text{m}$ )、红色波段 (0.64 ~ 0.72 $\mu\text{m}$ )、近红外波段 (0.77 ~ 0.88 $\mu\text{m}$ )。IKONOS 影像在数字城市建设、自然资源的管理和监控、自然灾害评估及精细农业等领域中有应用潜力。

近几十年, 研究人员提出了各种理论和方法用于从遥感影像中自动提取信息, 所用方法大致可分为两类, 第一类是直接从地物光谱特征获得信息, 目前较为成熟。第二类是结合外在知识得到信息, 如利用专家知识、采用神经网络分类、借助 GIS 分类和基于分形理论的分类等, 但这些方法还不很成熟<sup>[3, 4]</sup>。由于成像时的传感器类型、时相、太阳高度角和大气条件等因素的不同, 光谱信号受到干扰, 使得基于光谱知识及相关辅助知识的分类难以有效应用<sup>[5~7]</sup>。IKONOS 影像信息是大容量的、多元化的, 丰富的, 同时也是复杂的,

收稿日期: 2003-06-08; 修订日期: 2004-02-01

基金项目: 中德合作“江宁土地利用与可持续发展”(SILUP)项目资助

作者简介: 张友水 (1974), 男, 博士生。主要从事遥感与地理信息系统应用研究。

单纯采用一种方法难以从影像中一次完成各类目标信息的准确提取。根据信息源的特点与分析处理目标的不同,采用不同的处理技术和分析方法相结合的手段,才能获取相对理想的结果。本文综合采用基于光谱特征对试验区进行绿地信息提取,结果证明该方法非常有效。因为 IKONOS 影像分辨率高,影像中地物几何结构和纹理信息明显,信息复杂且存在同物异谱和异物同谱现象,该特点使得图像处理及地物分类方法在某种程度上不同于一般的遥感影像处理分类方法。

由于遥感分类对象区域及影像数据量较大且易混分,需将分类对象区域细分。分层分类法是提高影像分类精度的一种手段,该方法通过目视解译,光谱分析及其它辅助数据等,将分类对象地区分层细分成亚分类对象地区,对各个亚分类对象区的影像进行分类,最后将各亚分类区的分类结果合并形成最终的分类图<sup>[8]</sup>。本论文研究亚分类区影像信息提取的一种途径,即针对各类地物特点分别进行处理,当提取出一层信息后,将其从原图像中剔除,避免对其它信息提取的影响,为下一步信息提取提供方便。这样每次针对特定目标提取,使问题相对简化,每一类信息提取的精度得到提高,最终提高了总精度。该方法处理方便,能够分辨出具有细微光谱差异的地物而不考虑其它已分出来地物的光谱特征。

## 2 研究区影像分析

IKONOS 影像的多波段图像产品有两种选择,可以将红绿蓝三波段存放在同一数据文件中,也可以将红绿蓝和近红外存在 4 个不同文件中,本论文使用的数据属于后一种。南京城市 IKONOS 影像的成像时间为 2001 年 6 月,其中 1m 分辨率 IKONOS 影像为黑白全色波段数据,4m 分辨率 IKONOS 影像为多光谱数据。考虑绿地提取研究的对象是整个城市,空间相对较大,基于多光谱特征的分类提取方法对全色波段还不适用,本文对 4 m 分辨率的多光谱数据彩色合成后进行绿地提取。

### 2.1 绿地特征分析

从图像上可看出,南京市总体绿地率较高,但分布不平衡,主要表现在:

首先,紫金山、幕府山和雨花台及其以南为林地,三处林地占南京城市绿地面积的绝对优势。

其次,城区绿地相对来说占据的面积较少,但绿地类别较多,主要有以公园为主的园林绿地,还有分布于道路两侧的交通绿地和居住区绿地。

郊区绿地主要为农用蔬菜地,这类绿地景观随季节更替变动很大,由于城市化过程中城市扩张和农村城镇化,部分农用地由于规划待建而暂时成为荒地。

图像中绿地在不同的环境中表现出不同的光谱特征,即同物异谱现象,主要为:地形起伏导致阳坡和阴坡绿地的光谱特征有差异,阴坡绿地的色调相对较暗;城市建筑物的高低起伏造成阴影存在,使得阴影区绿地与非阴影区绿地具有不完全一样的光谱特征。同时也存在异物同谱现象,主要表现为绿地与少量屋顶、沥青路面和混有少量绿地的阴影光谱特征近似,使得在进行绿地信息提取时存在误分现象。

### 2.2 数据处理及试验区选择

首先对影像进行几何校正处理,将影像转换成同一坐标系中,然后进行 4 个波段合成。IKONOS 影像多光谱数据的文件用的是 11 位 GeoTiff 格式,不是通常的 8 位,在合成时应注意色彩的合理拉伸,选择各波段最佳的光谱组合,避免光谱分辨率的降低。通过目视判读与光谱特征对比分析对比整个影像,将影像分层分割成各亚分类区并选择某一亚分类

区为试验区。通过分层形成的亚分类区影像减少了每一区域的类别数,同时将相似光谱特征的不同类别分为不同类型区,这样可改善分类结果,提高分类精度<sup>[9, 10]</sup>。

通过比较分析,选择的试验区位于南京玄武湖以南(图版4图1),合成后影像的灰度值在394~668之间,大小为415×240个像元。试验区绿地类型主要为园林绿地、交通绿地和居住区绿地,其中色调较明亮绿地易与其它地类区别,色调较暗绿地与部分道路和老式建筑顶部的光谱特征相似,难以识别。因此,绿地信息提取主要考虑如何将与绿地容易混分的道路和屋顶剔除。试验区的选择具有代表性,在整幅图像中分类难度大,容易存在误分。

### 3 绿地信息提取研究

城市是复杂的对象,影像中有些地物的波谱特征很接近。本研究首先对各种地物光谱特征进行分析,然后根据绿地与其它地物光谱特征的差异,通过分级分类提取并掩膜的方式,对试验区 IKONOS 影像逐级提取绿地信息,最后将逐级提取的绿地信息进行合并得到试验区绿地分布图<sup>[11]</sup>。其信息提取流程图见图2。

#### 3.1 绿地及其它主要地物的光谱特征分析

抽取试验区一些典型并具有代表性的样本数据,求出地物在各波段的灰度均值,得出绿地及其它主要地物的光谱响应特征(图3)。深入了解各地物的光谱响应特征及相互作用机理后,根据光谱特征采用相应的方法对地物进行鉴别提取。

遥感影像上通常只能看到建筑物的顶部,所以主要考察建筑物顶部的光谱特征。城区建筑物集中,在可见光和近红外波段灰度值高,绝大多数建筑物与其它地类易于区分,其中白色屋顶灰度值明显大于其它类别。随着城市建筑的多样化,以红色、蓝色等颜色为屋顶的建筑物有增多的趋势,可依据它们在某一或某两个波段的光谱特性将其与其它地物区分。新建的居住小区与植被有较大差异,易于与植被区分。老城区的一些建筑物,主要是古建筑和老式建筑,由于年代久远,屋顶长有青苔,与植被的波谱特征接近,因此,绿地信息提取时容易与这些建筑物存在误分现象。

水泥路面和沥青路面的道路因建筑材料不同,光谱特性也有差异,水泥路面比沥青路面的灰度值高。沥青路面由于老化,被尘土严重玷污而呈现出灰度值较高<sup>[12]</sup>,路面的光谱特性与较暗色调绿地相似,特别是与分布于道路两侧的交通绿地光谱特性相似,给城市绿地的提取带来困难。进一步分析可知,沥青路面在四个波段的灰度值之和高于较暗色调绿地,可通过设置阈值将其区分并剔除。

城市建筑物形成的阴影与绿地的光谱特征差异较大,阴影的灰度值较小,但受阴影影响的绿地与其它地物容易混分。这部分绿地主要分布于居住区和道路两侧,在进行绿地信息提取时,需考虑阴影区绿地与其容易混分地物的光谱特性差异。

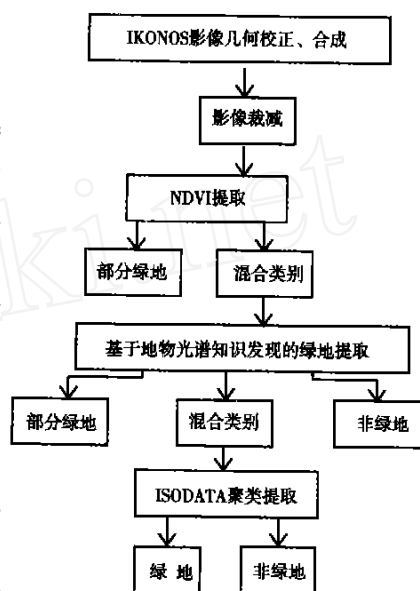


图2 信息提取流程图

Fig. 2 Flow chart of information extraction

水体与绿地及其它地物的光谱特征相差较大,呈较深的黑色。水体在 4 个波段的灰度值均较低,可利用这一特征将水体提取并从原始图像中剔除。

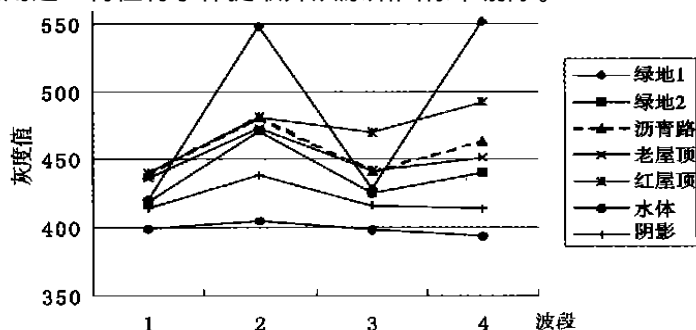


图 3 典型地物光谱响应曲线

Fig. 3 The spectral response of typical objects

### 3.2 绿地信息的提取

#### (1) NDVI 提取

植被指数已广泛用来定性和定量评价植被覆盖及其生长活力,国内外学者的研究证实了植被指数法在遥感影像植被提取和植被分类中比较有效,可以达到较高精度。常用的植被指数有归一化植被指数 (NDVI),差值植被指数 (DVI),比值植被指数 (RVI) 和垂直植被指数 (PVI) 等等,这些指数法主要是通过将各波段反射率以不同形式进行组合来消除外在的影响因素,这些线性组合或波段比值的指数满足特定的遥感应用<sup>[13, 14]</sup>。DVI 绿地研究一般适用于 Landsat MSS 影像。RVI 对大气影响敏感,而且当植被覆盖不够浓密时,RVI 方法的分辨能力很弱。对于 PVI,由于土壤背景的作用,当植被覆盖稀疏时,红波段辐射增加,近红外辐射减小,使得 PVI 不能很好地提取植被信息,这一点同于 RVI。NDVI 对绿色植被表现敏感,该指数常用来进行区域和全球植被状态研究,对低密度植被覆盖,NDVI 也较敏感。

NDVI 利用了植被在红波段的吸收峰及近红外的高反射特征,对红和近红外波段的反射率进行一定的数学计算。其定义的表达式为:  $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$ 。对本研究的 IKONOS 影像来说,因缺少相关参数,难以进行辐射校正得到地物反射率,IR 和 R 分别为影像近红外和红波段的灰度值。由于植被光谱表现为植被、阴影、土壤颜色、环境影响和湿度等复杂混合反应,而且受传感器光谱响应,大气条件和时相变化的影响,基于灰度值计算的植被指数通常不一致,没有一个普遍的值。

分析图 3 的波谱特征可知,绿化草地(绿地 1)的 NDVI 值最大,通过 NDVI 可较好地提取,而较暗色调绿地(绿地 2)的 NDVI 值偏小。当绿地被高大地物遮挡具有阴影时,NDVI 值也偏小,信息很弱,绿地信息难提取。阴影区绿地同部分建筑物和沥青路面的 NDVI 值接近,但在红波段,绿地的灰度值小于建筑物和路面且与阴影和水体的差别较大。因此,调整阴影区绿地在红波段的灰度值,非线性增强阴影区绿地 NDVI 值,将红波段位于 415 至 435 之间的灰度值减少 20 后进行 NDVI 分析,可更好地提取绿地信息。

分析试验区 NDVI 值,水体 NDVI 值最低,NDVI 图中呈黑色。绿地的值相对较高,呈灰至白色。建筑物和道路较复杂,呈灰至灰黑色。IKONOS 影像中暗色调绿地及分布稀疏绿地的 NDVI 值较低,通过植被指数阈值不能全部提取,只能提取部分绿地。通过分析,设定 ND-

VI 的阈值为 0.18,大于此值为绿地,小于此值为部分绿地和背景地物。将提取出的部分绿地与原图像进行逻辑运算,从原始图像中剔除绿地像元,下一步采用其它方法对剔除了部分像元的图像进一步提取绿地信息。

(2) 基于地物光谱响应知识及 ISODATA 绿地提取

水体在 4 个波段的灰度值接近并较低,均低于 410,利用这一特征将水体提取并从图像中剔除。

对于与较暗色调绿地的 NDVI 值接近的红色建筑,可依据它们在某一或两个波段的特性将其区分并剔除。红色建筑在红外波段灰度值高且  $IKONOS\ 4 > IKONOS\ 2$ ,而暗色调绿地为  $IKONOS\ 4 < IKONOS\ 2$ ,利用第四和第二波段间的逻辑关系将红色建筑物与绿地区分提取并从图像中剔除。

沥青路面和色调较暗绿地的光谱曲线与 NDVI 值接近,分析图 3 的光谱曲线,沥青路面除在第二波段与绿地 2 的灰度值接近,其余三个波段的灰度值均大于绿地 2 的灰度值,但差值不大。可利用它们在 4 个波段的灰度值总和区分并提取绿地。沥青路面在 4 个波段的总和为 1824,绿地 2 在 4 个波段总和为 1755。因此,可通过关系表达式提取信息,4 个波段灰度值总和大于 1780 为沥青路面,位于 1760 和 1740 之间为绿地,将两类信息提取并从图像中剔除。

把以上已剔除了大部分像元的图像作为新的原始图像,通过灰度拉伸进行最后的分类提取。目视解译并选择绿地样本点,利用非监督 ISODATA 聚类技术,最后一次提取出绿地信息。

通过代数运算复合上述不同层次上提取的绿地信息,由于 IKONOS 影像的高分辨率性使提取的绿地有时比较零碎,从土地利用角度来说,植被分布稀疏的绿地区域既包括绿地覆盖区,也应包括相关的空隙地,采用  $3 \times 3$  的上下文填补法统计绿地信息占整个窗口的比例,当比例超过 50 % 时,将空隙填补为绿地信息,可在一定程度上提高了信息提取精度。图版 4 图 4 为绿地提取的最终结果。

3.3 提取精度分析

为了验证上述方法的有效性,采用单一的非监督 ISODATA 聚类法对试验区多光谱影像进行绿地信息提取(图版 4 图 5)。因为对高分辨率遥感影像来讲,相对其它方法,ISODATA 方法对不同种类地物的光谱聚类效果较好<sup>[15]</sup>。选择试验区绿地样本点参与训练分类,并将绿地提取结果与上述方法提取的结果进行比较。

综合比较以上两种方法提取的结果,可看出采用分级分类法提取的绿地界限清晰,尽管存在少量混分现象,但与单一的 ISODATA 聚类方法相比,混分现象明显减少,信息提取的精确度明显提高,面积精度能够满足城市绿地信息调查的要求。单一 ISODATA 聚类提取的绿地与试验区老建筑屋和沥青路面的混分现象明显。目视解译试验区影像的绿地信息,并进行实地验证和修正,以目视解译结合实地验证、修正所提取的绿地作为参照值,将上述两种方法提取结果分别与参照值比较。表 1 为提取结果的精度分析。

表 1 两种方法绿地提取结果对比

Tab. 1 Precision contrast of two research methods

提取方法	绿地提取像元	绿地参照像元	正确提取像元	生产者精度(%)	用户精度(%)
分级分类	20020	19500	18057	92.6	90.2
非监督 ISODATA 聚类	22072	19500	16958	87.0	76.8

## 4 结果评价与讨论

当前采用任何一种方法都很难一次性地分离出影像中所有的城市类别而同时保持合理的精度,但在不同层次上采用不同光谱特征和具有针对性的算法对地物进行分类,证明是有效的。分级分类提取法在提取目标时,首先对地物特征进行分析,进而对各种提取方法的效果进行比较并选择其中较满意的方法,通过比较提取结果与地面实况,并将结果与单一 ISODATA 聚类结果相比,本方法提取的绿地混分现象减少,分类结果的可信度高。

由于城市地物复杂,并且理论上小于  $16\text{m}^2$  的绿地在图像中和周围地物构成混合像元,存在少量误分类。考虑到绿地信息提取研究的对象是整个城市,尺度相对较大,上述方法的绿地提取精度能够满足一般应用和研究的需要。

利用高分辨率卫星数据进行城市绿地提取,解决了城市绿化覆盖的不易量测性。通过影像客观地对城市绿化情况进行调查和动态监测,进而进行城市生态评价,是高分辨率卫星影像应用研究的一项重要内容。结合其它影像数据如高光谱影像及航空影像数据,不但能提高监测分析的精度,还可进行绿地类型的划分。在城市地物分类的应用研究中,除了分析影像的光谱信息外,还应分析纹理、形状、大小和其它特征值在精确定量分类中的应用<sup>[16]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 车生泉,王洪轮. 城市绿地研究综述. 上海交通大学学报,2001,19(3): 229~234.
- [2] 赖志斌,夏曙东,承继成. 高分辨率遥感卫星数据在城市生态环境评价中的应用模型研究. 地理科学进展,2000,19(4): 359~365.
- [3] 程昌秀,严泰来,朱德海,张玮. GIS 与 RS 集成的高分辨率遥感影像分类技术在地类识别中的应用. 中国农业大学学报,2001,6(3): 50~54.
- [4] 方红亮,黄绚. 地学应用中的遥感图像处理若干问题的分析. 地理研究,1997,16(2): 96~104.
- [5] 王雷,冯学智,都金康. 遥感影像分类与地学知识发现的集成研究. 地理研究,2001,20(5): 637~643.
- [6] Yong Du, Philippe M. Teillet, Josef Cihlar. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. Remote Sensing of Environment, 2002, 82: 123~134.
- [7] 何春阳,史培军,陈晋等. 北京地区土地利用/覆盖变化研究. 地理研究,2001,20(6): 679~687.
- [8] 陈述彭,童庆喜,郭华东. 遥感信息机理研究. 北京:科学出版社,1998. 367~369.
- [9] Hutchinsion C F. Techniques for combining landsat and ancillary data for digital classification improvement. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1992, 1: 123~130.
- [10] Miguel-Ayaz J, Bioging D. An iterative classification approach for mapping natural resources from satellite imagery. Int J Remote Sensing, 1996, 7(5): 957~981.
- [11] 杨存建,周成虎. TM 影像的居民地信息提取方法研究. 遥感学报,2000,4(2): 146~150.
- [12] Ben-Dor E, Levin N, Saaroni H. Remote Sensing of an Urban Environment Using Hyperspectral Technology. Proceedings of the Thirteenth International Conference on Applied Geologic Remote Sensing. 1-3 March 1999, Vancouver, BC, Canada, II 6~11.
- [13] 陈述彭,赵英时. 遥感地学分析. 测绘出版社,1990. 147~152.
- [14] Gilbert M A, Gonzalez-Piqueras J, Garcia-Haro FJ, et al. A generalized soil-adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment, 2002, 82: 303~310.
- [15] Zhang Y. Texture-integrated classification of urban treed areas in high-resolution color-infrared imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2001, 67(12): 1359~1365.
- [16] 孙丹峰,杨冀红,刘顺喜. 高分辨率遥感卫星影像在土地利用分类及其变化监测的应用研究. 农业工程学报,2002,18(2): 160~164.

## Study on extraction of urban green space from IKONOS remote sensing images

ZHANG You-shui, FENG Xue-zhi, DU Jin-kang, GU Guo-qin

(Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract :** This paper discusses about the extraction of urban green space from an IKONOS image using a hierarchical classification technique. Green space information was obtained based on the spectral characteristics of different objects with the help of available corresponding methods after the combination of IKONOS multi-spectral data. Due to high resolution of IKONOS imagery, large amount of data and heterogeneous nature of spectrum, the extraction of urban green space was carried out on segments after image segmentation. This would help much improving the accuracy of extraction of urban green space from the whole image.

In test area of the image, the spectral characteristics of different features in all 4 bands are analyzed. The spectral characteristics of old urban area and asphalt road are similar to those of part of green space. Moreover, it is difficult to extract green space under the shadow. In order to extract information from the mixed green space with non-green space, through enhancing NDVI values of a green space under the shadow, parts of green space are extracted ( $NDVI > 0.18$ ), then parts of non-green space are eliminated. The next step is to extract green space from mixed green space and non-green space based on spectral knowledge and unsupervised ISODATA clustering. Finally, green space information of test area is obtained by aggregating different levels of green space. The methodology is basically concerned with the object spectral features and noise due to the mixture of different land-use/land-cover categories is significantly avoided. To demonstrate the efficiency of proposed method, unsupervised ISODATA clustering method was used to extract green space from the test area, then both results were compared to show accuracy. The visual interpretation and ground truth checks of the test area have proved that the classification accuracy and productivity accuracy of the first method are higher than that of the latter.

**Key words :** information extraction; green space; normalized difference vegetation index; mixed pixel





图 1 试验区 IKONOS 321 影像  
Fig.1 The IKONOS 321 image of experimental site



图 4 分级分类提取结果  
Fig.4 Extracted result of hierarchical classification



图 5 ISODATA 分类提取结果  
Fig.5 Extracted result of ISODATA classification