

文章编号: 1007-4619 (2000) 03-0224-04

成像光谱数据在城市遥感中的应用研究

刘建贵, 张 兵, 郑兰芬, 童庆禧

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要: 采用高空间分辨率的航片与高光谱数据对城市进行遥感研究。利用高空间分辨率数据丰富的空间信息, 以及高光谱分辨率数据丰富的光谱信息, 提出了基于图像边缘检测和光谱分析的新型高光谱遥感图像分类方法, 对城市地物覆盖以图斑为单位进行分类。从而证明对复杂的城市环境进行遥感研究, 这种方法是有效的。

关键词: 城市; 边缘检测; 光谱分析; 分类

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

社会的发展导致城市化趋势明显, 城市化带来一系列问题。城市人口, 资源, 环境的监测与评价, 城市规划等问题显得越来越重要。遥感应用于城市研究从黑白航片开始, 以后发展到彩色, 彩红外, 航空热红外等技术。随着遥感技术的发展, 卫星遥感数据被广泛应用于城市发展动态的研究^[1-3]。Ridd^[4]采用植被, 土壤, 不透明表面作为 3 要素, 对城市变化趋势进行了研究。Haack^[5], Khorram^[6]等利用 MSS 和 TM 数据对城市进行对比研究, 结果表明 TM 数据在对覆盖不均匀的城市表面分类时精度并不比 MSS 数据好。现在, 大量的研究^[7-10]倾向于利用空间结构信息作为辅助数据进行城市遥感研究。多源数据融合技术能够充分利用各种数据之间的互补性来增加分析数据的信息含量, 从而改善分类与分析的效果。

由于具有丰富的光谱信息, 航空高光谱遥感在地质矿产调查、植被监测和环境分析方面已有许多广泛和成功的应用实验, 但在城市环境制图方面则是一个新的领域。城市是自然现象与人工环境的综合体, 人类社会的活动使地面覆盖物的光谱特性复杂化, 同时, 人类因素的影响又使得城市具有比较规则的空间结构特征。利用航片与成像光谱数据, 从

高空间分辨率和高光谱分辨率的角度出发对城市进行土地覆盖与利用分类研究, 兼顾空间信息与光谱信息, 是一个有意义的尝试。

2 研究数据概况

研究中, 使用了两种航空遥感数据, 一是推帚式阵列 CCD 成像光谱仪 PHI 数据, 从可见光到近红外共 16 个波段, 光谱分辨率小于 5 nm, 地面分辨率 1.5 m; 另一个是同时获取的 1:3000 比例尺的彩红外照片, 经 300dpi 数字化后地面分辨率达 0.25 m。研究区为广西北海市, 使用运五飞机, 带有两轴稳定平台。航片数据作了正射校正, 然后将成像光谱数据以航片为准进行几何校正。我们选择了其中 256 × 256 像元的图块进行研究。在航空数据获取的同时, 采用 SE590 野外光谱仪进行了实地光谱测量, 其中的几个测量位置位于该图块内, 便于对图像数据进行反射率转换。

研究的主要思路是利用高空间分辨率图像数据的高几何清晰度, 检测出城市各地物的轮廓线, 以此形成多边形图斑。然后利用高光谱数据的光谱信息, 针对每一个图斑进行统计分析, 以确定它的类别归属。在不改变任何高光谱分析算法和分类模型的前提下, 这样做取得两个方面的重要改进: 一是利用每个地块内的平均光谱特征代表像元光谱

收稿日期: 1999-04-15; 修订日期: 2000-03-21

作者简介: 刘建贵 (1971-), 男, 1990年毕业于清华大学电子工程系, 现为中国科学院遥感应用研究所博士生, 从事高光谱遥感应用、图像处理、模式识别等方面的研究。

特征大大提高了分类对象的信噪比,使其光谱特征更具有代表性,并相应提高了地物覆盖分类精度;二是由于高光谱图像空间分辨率、信噪比、混合像元的影响,基于像元的分类对城市地物分类与制图来讲,难以取得好的效果。而利用高空间数据进行边缘自动检测和人工编辑后,可产生很规范的地物图斑边界。

3 高空间分辨率支持下的高光谱图像分类

本分类流程主要包括4个步骤:高空间和高光谱图像匹配、源于高空间数据的多边形图斑生成、高光谱数据的反射率转换、基于图斑的高光谱图像分类,其过程和流程如图1。

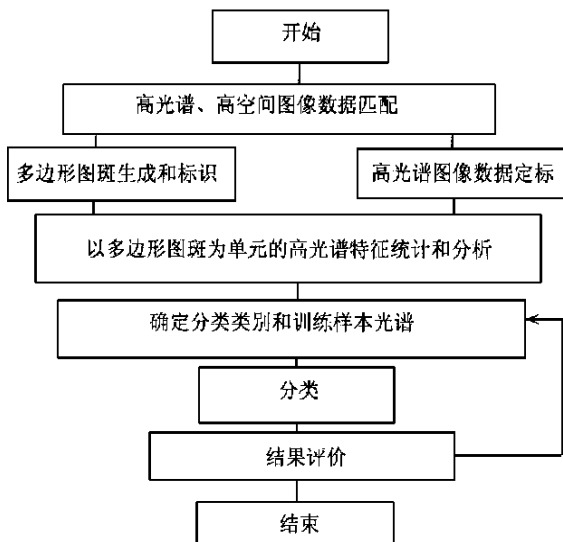


图1 数据处理流程

Fig. 1 Flowchart of classification procedure

3.1 边缘检测及地物轮廓线的抽取

图像的边缘检测是一个复杂的问题,对复杂的遥感图像更是如此。因为线形特征对图像的理解起着重要的作用,许多研究者采用各种方法试图提取图像边缘信息,进行图像分割。对于城市目标分类,地物轮廓线的抽取与多边形图斑的生成是一个关键的步骤。研究中根据 Marr^[11]提出的方法,采用高斯函数作为滤波器对图像进行平滑滤波,然后用其一阶或二阶导数,找出图像极值点或者过零点来检测过缘。二维高斯函数形式为:

$$G(X) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

拉氏算子作用于高斯函数:

$$\Delta^2 G(x, y) = -\frac{1}{2\pi\sigma^4} \left(2 - \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

$\Delta^2 G(x, y)$ 过零点对应于图像的边缘。高斯函数的优点在于通过调整 σ 可以检测不同尺度的边缘^[11],这个特性使之优于一般的边缘提取方法。实际中将彩红外航片数据转换成黑白图像,这样做并不损失边缘信息。首先采用高斯函数进行数字化平滑滤波,使用其拉氏算子的结果检测边缘点,滤波窗口尺寸则根据函数值的衰减性选取,获取的边缘点由图像的局部过零点表示,过零点的特性反映边缘线的强度和方向^[12]。局部过零点一般不形成连续的边缘线,而且有大量的离散点,可以用追踪算法进行处理。

3.2 边缘追踪

上面形成的边缘是一些离散的点,还需要通过边缘追踪技术才可以形成有意义的线性特征,我们采用 Hough 变换技术。Hough 变换称为线-点变换:它将直角坐标变换为极坐标,直角坐标系中的点变换为极坐标系中的一条曲线,直角坐标系中的一条直线变换为极坐标系中的一点,直角坐标空间共线的点变换为 hough 空间共点的曲线。变换关系为:

$$\rho = x\cos(\theta) + y\sin(\theta)$$

具体做法是:在 θ 、 ρ 合适的最大值与最小值之间建立一个离散的参数空间,建立一个累加器 $A(\theta, \rho)$,置每个元素为0,然后对每个过零点做 Hough 变换,即算出该点在 θ - ρ 网格上的对应曲线,并在相应累加器上加1。找出对应于图像平面共线点的累加器上的局部最大值,这个值就提供了图像平面上共线点的参数。图3给出这一步的结果。通过比较原始图像与边缘图像,发现吻合比较好(封四图版 I 图2,图3)。对于没有检测出来的弱边缘,采用手工编辑进行修补。

3.3 成像光谱图像反射率转换

在北海高光谱遥感数据获取的过程中,同步或准同步获取了大量的地面实测光谱数据。在缺乏大气参数的情况下,采用经验线性法对原始数据进行反射率转换。地面光谱定标点的选择主要考虑的因素是,地块尽可能均匀,在图像上便于精确定位,以及各定标点之间的反射率差异大。可以认为图像 DN 值与反射率之间存在如下简单的经验关系:

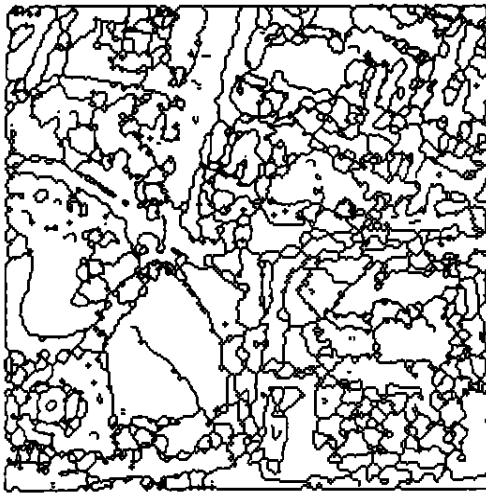


图 3 边缘轮廓图

Fig. 3 Edges of objects

$$DN = k * R + b \quad (3)$$

其中 DN 为图像亮度值, R 为反射率, k 、 b 为待求解的系数。在图像中找出几种地面实际测量过光谱响应曲线的的地物的对应点, 从中抽取灰度值, 结合实测光谱数据进行最小二乘拟合:

$$K = \frac{N \sum (DN_i r_i) - \sum r_i \sum DN_i}{N \sum r_i^2 - (\sum r_i)^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{\sum DN_i r_i - K \sum r_i^2}{\sum r_i} \quad (5)$$

这样可以求出常数 K , b , 用来对灰度值进行反射率转换。

3.4 基于图斑的城市地物分类

对于已经形成的地物轮廓线, 对每一个闭合轮廓线内的像元进行综合处理, 从中提取出所有像元的均值光谱。步骤是: (1) 扫描整幅图像找出未被处理的像元位置, 如果未找到, 到(4), 如果找到, 将该点标记为“处理”和块序数; (2) 以该点为种子点向其四邻域扩散搜寻未被标记且未越过任何边界的点, 标记为“处理”和块序数; (3) 将本次标记的有相同块序数的点的各个波段进行平均求取均值光谱, 连同块序数写入文件, 返回(1); (4) 对各均值光谱, 进行分类, 确定其归属, 按块序数将该光谱对应的多边形边界所围区域标记为其均值光谱所归属的类, 完成整幅图像的分类。

均值光谱分类可以使用任何现有的光谱分类技术, 这里采用了广义夹角匹配的方法进行处理^[13]。根据地面实况调查, 所选区域基本由水体及影阴, 植

被, 沥青表面, 水泥表面, 大理石表面, 裸土等 6 类构成, 图像分类结果见封四图版 I 图 5, 图 4 是几种从图像得出的均值光谱曲线。

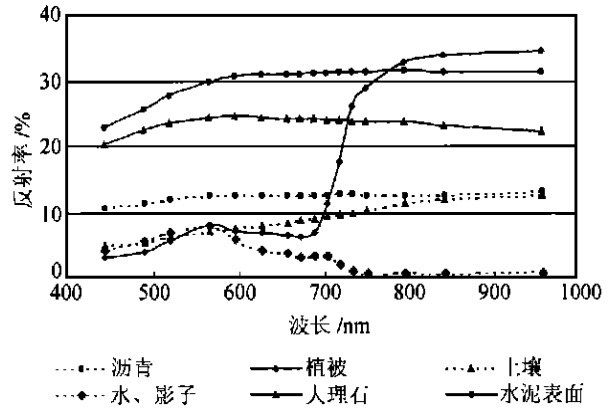


图 4 从图斑得出的几种地物反射率光谱曲线

Fig. 4 Several spectrum from block mean

4 讨 论

(1) 本文使用高光谱数据结合图像的空间特征, 利用城市地物结构特征比较明显的特点, 对图像进行基于图斑的分类。一方面充分利用了高光谱数据对地物的鉴别能力, 另一方面密切地结合了空间信息, 分类方法适用于原有的高光谱分类模型。对于城市这样复杂的环境, 人工干扰因素明显。例如路面上的车辆, 房屋顶上的各种设施等, 在空间分辨率比较高时, 都能在成像光谱数据丰富的光谱信息下得到反映, 用基于像元的分类方法, 就可以分出各种地面覆盖的精细类别。但对于某些应用目的来说并不需要将它们都分类识别出来, 多而零乱分类图反而不能达到满意的效果。基于图斑的分类方法优点在于可以在一定程度上摒弃分布于均匀区域中其它少数、次要类别对分类的影响, 使分类结果可以突出重点, 有利于进一步应用分析或者制图需要。相反, 如果需要对特定的非优势目标进行提取, 必须采用基于像元的分类技术。所以不同的应用目的应该有不同的处理方法, 对分类效果的评价也不相同。通过比较分类封四图版 I 图 5 和原始图像封四图版 I 图 2, 可以看出对我们所定义的几种地物类型, 分类图能够反映它们的连续分布, 而且其它次要类别的离散图斑很少。

(2) 高光谱数据能够详细地反映出目标的光谱行为, 因而对地物覆盖可以做更为精细的分类, 尤其对于城市地物覆盖, 可以进一步细分, 这是成像光谱

数据优于传统卫星数据之处, 数据信噪比提高将使其优势进一步得到发挥。例如植被可以容易地分出树木和草地, 农作物等; 水体和影子这两个光谱响应相似的类别可以被进一步分离开来。这进一步的分类仍然可以建立在分块分类的基础上, 因为我们已经产生了图斑, 对于每一个图斑, 可以采用掩模的方法将它提出单独细分, 这是一种分级分类的分类办法。

(3) 对城市目标规则的形状, 边缘对对象的刻画比较重要。基于图斑的分类方法可以消除图斑内次要因素的影响, 但是涉及到图像边缘提取的问题。边缘提取尤其是遥感图像的边缘, 是一个复杂的问题, 提取与追踪算法不能够保证所有的边缘都被拾取, 特别是对弱边缘, 所以对形成的边缘有时需要采用手工编辑的手段来弥补计算机处理的缺陷。这主要包括两种情况: 一是对弱边缘在某些位置出现大的中断, 对优势类别的刻画影响较大, 必须予以修补; 一是零散物体导致一些不闭合的边缘点或短线。这种情况对我们的算法影响不大, 因为我们采用区域填充方法获得图斑, 这些点可以不被填充, 而且可以根据需要对分类图像作简单的空间滤波消除它们。被漏检而又对分类重要的边缘部分容易通过观察发现并编辑。多分辨率分析技术对边缘的提取是一个被研究得较多的课题, 从理论上说, 它比较符合于人类的视觉过程, 是一个好的方法, 但是对于像遥感图像这样的复杂对象, 目前也没有取得重大的突破。因此进一步发展边缘提取技术是必要的。

参考文献 (References)

[1] J. P. Ormsby. Estimation of natural and man-made features using Landsat TM data [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1992, **13**: 303—

318.

[2] C. Weber, J. Hirsch. Some urban measurements from SPOT data: Urban life quality indices [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1992, **13**, 3251—3261.

[3] Gong, P., P. J. Howarth. Land-use classification of SPOT HRV data using a cover-frequency method [J]. *Int. J. Remote Sensing*, **13** (8): 1459—1471.

[4] M. K. RIDD. Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1995, **16**(12): 2165—2185.

[5] Barry Haack. An assessment of Landsat MSS and TM data for urban and near-urban land-cover digital classification. *Remote Sensing of Environment* **21**: 201—213 (1987).

[6] Siamak Khorram *et al.*, Comparison of Landsat MSS and TM data for urban land-use classification. *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing*, vol. GE-25, no. 2, 1987.

[7] Christine A. Hlavka. Land-use mapping using edge density texture measure on Thematic Mapper Simulator data [J]. *IEEE Trans. On Geoscience and remote sensing*, 1987, GE-25 (1).

[8] Susan Benjamin, Leonard Gaydos. Spatial resolution requirements for automatic cartographic road extraction [J]. *Photo. Engi. And Remote Sens*, 1990, **5**(1): 93—100.

[9] Peng gong, Philip J. Howarth. The use of structural information for improving land-cover classification accuracy at the rural-urban fringe [J]. *Photo. Engi. And remote sens.*, 1990, **56**(1): 67—73.

[10] Ansgar Brunn, Uwe Weidner. Hierarchical Bayesian nets for building extraction using dense digital surface models [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & remote sensing*, 1998, **53**: 296—307.

[11] D. Marr, E. Hildreth. Theory of edge detection [J]. *Proc. Roy. Soc. Lond.* 1976, **B207**, 483—524.

[12] Wang Runsheng. *Image Understanding*. The University of National Defence and Technology press, 1995. [王润生编著. 图像理解. 国防科技大学出版社, 1995.]

[13] Kruse, F. A., *et al.*, The Spectral Image Processing System (SIPS)-Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data. [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1993, **44**, 145—163.

Urban Remote Sensing Application Study Using Hyperspectral Data

LIU Jian-gui, ZHANG Bing, ZHENG Lan-fen, TONG Qing-xi

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: This paper studies the urban environment using remote sensing data with high spatial resolution airphotos and hyperspectral data. By using the ample spatial structural information contained in the high spatial resolution data and the fine spectral information contained in the hyperspectral data, a classification method based on edge detection and spectral analysis of the image was explored to classify the urban cover types on the per-block bases. The result indicates that this method is effective for the study of whole urban environment.

Key words: urban; edge detection; spectral analysis; classification



图 2 原始图像

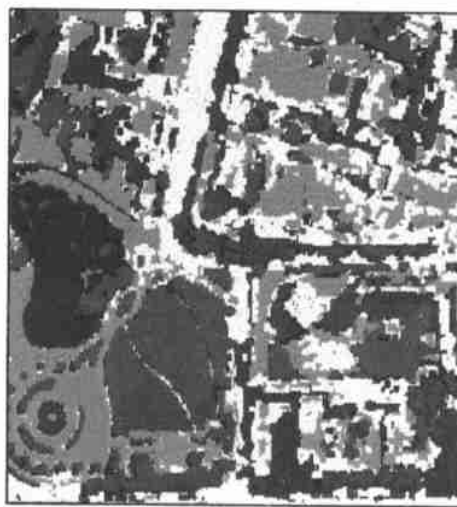


图 5 分类图

- 植被
- 大理石
- 土壤
- 水泥表面
- 柏油路
- 水、影子

遥感学报

(季刊 1997 年创刊)

2000 年 8 月 第 4 卷 第 3 期

JOURNAL OF

REMOTE SENSING

(Quarterly, Started in 1997)

Vol. 4 No. 3 Aug. 2000

编辑 《遥感学报》编辑委员会
北京市安外大屯路中科院遥感所
邮 编: 100101; 电话: (010) 64889543

主 编 徐 冠 华

出 版 科学出版社
北京东黄城根北街 16 号
邮编: 100717

印刷装订 中国科学院印刷厂
总发行处 北京报刊发行局
订 购 处 全国各地邮电局
中国国际图书贸易总公司
国外总发行 (中国国际书店)
北京 399 信箱

Editor: Editorial Board of Journal of
Remote Sensing
P. O. Box 9718, Beijing 100101, China
<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/ygxb/index.htm>
E-mail: jrscas@public.sti.ac.cn

Chief Editor: Xu Guanhua

Publisher: Science Press
16, Donghuangchenggenbeijie Street
Beijing 100717, China

Distributed Abroad: China International
Book Trading Corporation
(Guoji Shudian)
P. O. Box 399, Beijing, China

国内外公开发行 刊号: ISSN 1007-4619 邮发代号: 82-324 国外刊号: Q1002 定价: 14.00 元

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>