

文章编号: 1000-0585(2001)01-0062-06

卫星图像中不同水体类型识别研究

秦其明, 袁吟欢, 陆荣建

(北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871)

摘要: 在具有高空间分辨率特性的图像上, 城市中大型建筑物、道路、河流、湖泊和其他人工地物形状特征和纹理特征清晰可辨。针对高分辨率卫星图像的特点, 文章以水体类型识别为例, 从卫星数字图像目标地物波谱特征抽取入手, 通过图像分类, 将水体从背景中分离并予以识别, 同时实现像素重组。在区域分割与边界跟踪基础上, 对卫星图像进行水体形状特征的抽取与描述, 实现不同水体类型的识别。

关键词: 模式识别; 卫星图像; 特征抽取

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

从卫星图像上获取目标地物信息, 传统的方法是通过目视解译。这种方法, 既需要图像目视判读者具有丰富的地学知识和目视判读经验, 又需要花费大量的时间去目视判读, 其劳动强度大, 信息获取周期长, 遥感图像解译质量受目视判读者的经验、对区域的熟悉程度等各种因素的制约。为了解决这一问题, 从 20 世纪 70 年代起, 人们开始尝试利用地物波谱特征进行计算机分类。目前商用卫星可以提供 10m 到 1m 空间分辨率的卫星图像, 在这种具有高空间分辨率特性的图像上, 大型建筑物、道路、河流、湖泊和其他人造地物形状特征和纹理特征清晰可辨, 这为运用形状特征和纹理特征等地物细节信息进行目标精确识别提供了客观基础。在该项研究中, 我们根据高分辨率卫星图像特点, 综合运用波谱特征与和形状特征, 对不同类型的水体予以识别, 现将其方法阐述如下。

2 水体波谱特征抽取与识别分类

遥感图像分类的主要依据是地物的波谱特征。地物波谱特征是指该地物对太阳辐射的反射, 散射能力随波长而变的规律, 地物波谱特征与地物的组成成份, 物体内部的结构关系密切。一般说来, 不同地物拥有不同的地物波谱特征, 据此可以将它们识别。

收稿日期: 2000-09-07; **修订日期:** 2000-12-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (69872004) 和国家重点基础研究发展规划项目 (G2000077900)

作者简介: 秦其明 (1955-), 男, 江苏人, 博士, 北京大学遥感与地理信息系统研究所副所长, 教授。主要从事遥感图像解译与地理信息系统应用模型研究, 先后发表学术论文 20 余篇, 出版编著 4 本。

针对不同地物波谱特征, 这里采用最大似然比分类法 (maximum likelihood classifier) 对北京 SPOT 卫星图像 (见图 1) 进行分类。最大似然比分类法是通过求出每个像元对于各类别归属概率, 把该像元分到归属概率最大的类别中去的方法。设从类别 K 中观测到 x 的条件概率为 $P(x|k)$, 则归属概率 L_k 可表示为如下形式的判别函数:

$$L_k = P(k|x) = P(k) \times P(x|k) / \sum_i P(i) \times P(x|i) \quad (1)$$

式中 x 为待分像元, $P(k)$ 为类别 k 的先验概率, 它可以通过训练区来决定。

最大似然法假定训练区地物波谱特征和自然界大部分随机现象一样, 近似服从正态分布^[1], 利用训练区可求出均值、方差以及协方差等特征参数, 从而可求出总体的先验概率密度函数。此时, 像元 x 归为类别 k 的归属概率 L_k 表示如下 (这里省略了和类别无关的数据项):

$$L_k(x) = \left[(2\pi)^{n/2} \times (\det \Sigma_k)^{1/2} \right]^{-1} \exp \left[-1/2 \times (x - \mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (x - \mu_k) \right] P(k) \quad (2)$$

式中 $L_k(x)$ 为像元 x 归并到类别 k 的归属概率; n 为特征空间的维数; $P(k)$ 为类别 k 的先验概率; x 为像元向量 (n 维列向量); μ_k 为类别 k 的平均向量 (n 维列向量); \det 为矩阵 A 的行列式; Σ_k 为类别 k 的方差、协方差矩 ($n \times n$ 矩阵)。

应该指出, 在选取训练区过程中, 为了把水体与背景分离开, 我们把水体作为识别目标, 把建筑物、绿化地、道路与其他类型均作为背景, 因此, 在“背景”训练区选取中应包括建筑物、绿化地、道路与其他类型地物。分类后, 需要对图像进行去除噪音, 这里将小于 8 个像元的区域作为噪音, 归并到背景中。最大似然比分类法对水体分类结果见图 2。



图 1 北京 SPOT 卫星图像 (原图局部)

Fig. 1 SPOT image of Beijing (local)

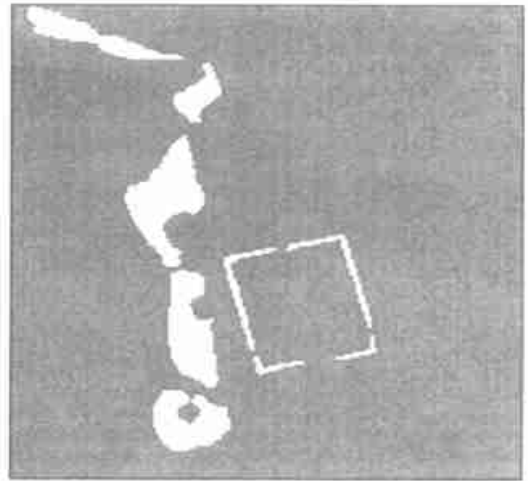


图 2 图像分类结果

Fig. 2 Classified Image of Beijing

在图 2 中可以看到, 左侧的水体由图的下端向上依次为北京的南海、中海、北海、前海和后海, 它们属于小型湖泊, 由于道路和桥梁的分割, 它们成为 5 个独立的水体。右侧的水体为北京故宫的筒子河, 它属于人工开挖的河渠。由于出入故宫有四条通道, 分别为午门、东华门、神武门和西华门, 它们把筒子河分为几段。这两种不同的水体类型, 由于

水体在物理性质上具有相同组成成份和内部结构，无法根据波谱特征分类，但可以根据它们不同的形状特征进行识别。

3 边界跟踪与形状特征描述

地物边界跟踪，是获取地物形态特征的前提。本文认为，地物的边界位于目标地物与背景之间，边界跟踪的路径应该从两个相邻地物边界像元间穿过^[2]。这里以两类地物单元边界跟踪为例，就边界跟踪方法作一阐述：

边界跟踪首先需要辨识不同地物边界点和同一地物内部点。这里对地物边界点和内部点定义如下：设 G_1 为图像中第一种地物类型， G_2 为图像中第二种地物类型，像元 A_0, A_1, A_2, A_3 在二维图像空间分布中具有如（图3）所示的相邻关系。

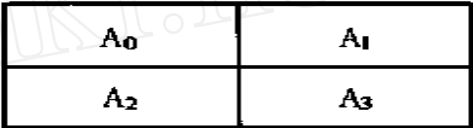


图3 四个像元在 2×2 图像窗口的相邻的关系

Fig.3 The neighboring relation of 4 pixels in 2×2 image windows

若 $A \in G_1$ 或 $A \in G_2, A = \{A_0, A_1, A_2, A_3\}$ ，则称 2×2 图像窗口的中间点（图3窗口内部“+”对应的中心位置）为内部点，若存在 $A_i \in G_1, A_j \in G_2, i \neq j$ ，则称 2×2 图像窗口的中间点为边界点。地物边界跟踪，就是寻找边界点并把同一地物的边界各点连接起来，其边界跟踪方法如下：

起始点的确定。设图像数据具有 m 行和 n 列，分别在图像四周各增加一行或一列数据，增加的像元赋值为-1，构成 $(m+2) \times (n+2)$ 尺寸的数字图像，经上述处理，图像周边的像元都成为边界点。这里规定，第一个地物单元的边界点在图像坐标原点，将坐标原点作为起始点，开始跟踪时，记下起始点的坐标，顺序扫描图像，查找边界点。

下一个跟踪点的确定。查找下一个跟踪点，关键是确定下一个跟踪点的方向。在逆时针方向查找时，通过对地物边界点在跟踪窗口各种可能出现状态的分析，发现当前位置的下一个边界点是唯一的。寻找当前位置的下一个边界点的方向，依赖于当前点的位置和跟踪窗口内相邻像元的分布位置。利用已知的方向作指引，可以方便地查找到当前位置的下一个边界点，图4给出了跟踪窗口内的相邻像元6种分布状况，以及每一个分布状况下跟踪时下一个边界点的查找方向。

图4中，第一行前2个像元测量值和第二行前2个测量值共同构成一个 2×2 图像窗口，第一行第3个和第4个像元测量值和第二行第3个和第4个像元测量值共同构成另一个 2×2 图像窗口，依次类推，这样构成6种不同状态的边界窗口，窗口内“1”和“2”分

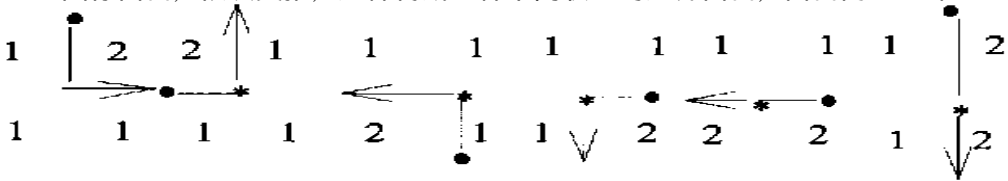


图4 图像窗口内的相邻像元分布状况和下一个边界点的查找方向

Fig.4 Distribution of neighboring pixels in image window and the finding direction of next boundary point

别代表像元所属的地物类型,本文中它们分别代表水体与背景。图 4 中“·”表示跟踪过程中上一点的位置,“*”表示跟踪过程当前点的位置,“ ”表示查找下一个边界点的方向。

根据当前边界点到下一个边界点的方向,可以唯一的确定该地物边界中下一个边界点的位置。利用方向指引,寻找到下一个边界点后,要求判别该点的坐标是否与起始点相同,坐标不同时,继续寻找当前地物的下一个边界点。若该点的坐标与起始点相同时,记录下跟踪过程中边界点的各种信息,产生一个地物边界数据记录,然后利用同样跟踪方法,开始下一个地物单元边界的跟踪,一直到图像中所有地物单元跟踪完毕(图 5)。

形状特征描述与提取。通过边界跟踪可以获得一系列有序的边界点,这些边界点提供了水体形状特征的大量信息。这里采用链码来记录和描述每个水体边界。

水体形态特征的提取。水体形态特征可以采用水体周长与面积有关的参数来构造^[3]。水体周长 P 计算方法如下:

以链码形式记录水体单元边界,其周长 P 的提取方法如下:
设采用链码表示的相邻像元间长度为:

$$L_n = (\sqrt{2})^n$$

(3)

式中 $n = \text{mod}(2, a_i)$, $a_i = 0, 1, 2, \dots, 7$ 为链码的方向; $P = \sum L_j$ 为地物边界像元点的个数。

水体面积的计算方法:

首先计算出水体每一行的面积 S_k , 其公式如下:

$$S_k = (x_j - x_i) \times \Delta_s$$

(4)

这里, Δ_s 为每个像元对应的地表面积, x_k, x_j ($x_j > x_i$) 分别为同一行中同一地物边界点上的 x 坐标。

$$S = \sum S_k$$

(5)

根据以上公式,可以求出每个水体的周长与面积。

计算水体形状特征 C :

$$C = \frac{P^2}{4\pi \times S}$$

(6)

式中 C 代表水体形状特征, S 代表水体的面积, P 为该水体的周长。

据此,可以分别计算出图像中每个水体的周长、面积与形状特征,为区分湖泊与人工河渠,我们建立一个识别函数 $F(C)$:

$$F(C) = \begin{cases} \text{河渠} & C \geq 5.0 \\ \text{湖泊} & C < 5.0 \end{cases}$$

(7)

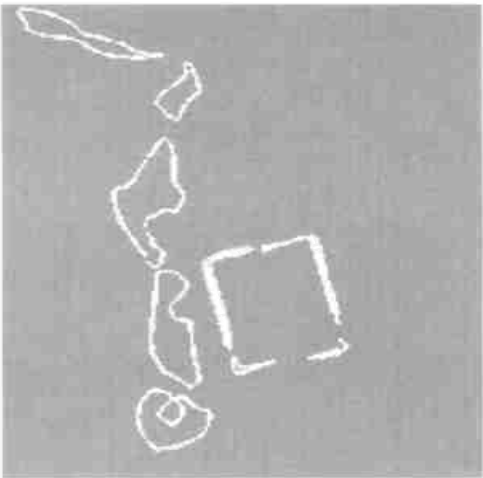


图 5 不同水体类型边界跟踪后获得的结果
Fig. 5 Border tracing result of various water bodies

利用这个判别函数，我们可以对水体每个特征予以识别，其识别结果见表 1。

表 1 不同水体类型识别结果

Tab. 1 Recognized result of various types of water bodies

水体编号	面积	周长	形状特征	实际归属	判断归属
1	171 443	3 425	5. 447 014	湖泊	湖泊
2	91 221	1 926	3. 239 083	湖泊	湖泊
3	358 927	4 280	4. 065 260	湖泊	湖泊
4	48 132	3 253	17. 510 076	河渠	河渠
5	49 965	3 124	15. 562 141	河渠	河渠
6	269 539	3 296	3. 209 625	湖泊	湖泊
7	14 210	1 156	7. 485 416	河渠	河渠
8	17 878	1 284	7. 345 613	河渠	河渠
9	223 699	3 167	3. 571 854	湖泊	湖泊

注：表中的面积与周长数据为图象上量算，存在误差，其面积单位为m²，周长单位为m。

4 结果讨论

从表 1 可知，在北京 SPO T 图像中的南海、中海、北海、前海和后海等五个湖泊，以及北京故宫周围的筒子河河段，根据形状特征均被正确识别，识别正确率达到 100%，这说明该方法是可行的。我们认为，对于具有相同波谱特征而形状特征不同的地物（如水体），在目标地物识别中综合运用波谱特征与和形状特征，可以提高目标地物识别的准确率。由于实验图像中选择的水体类型比较典型，并且不同湖泊之间水体边界清晰，所以湖泊和河渠识别的效果理想，在实际应用中，其方法在解决复杂问题时需要进一步完善。

参考文献:

[1] 郭德方 编著 遥感图像的计算机处理和模式识别[M]. 北京: 电子工业出版社, 1987.

[2] 秦其明 TM 图像特征抽取研究[A]. 中国博士后首届学术大会论文集[C]. 北京: 国防工业出版社, 1993. 441~445

[3] 边肇祺 编著 模式识别[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988

The recognition of various types of water bodies on satellite image

Q N Q im ing, YUAN Yin-huan, LU Rong-jian

(Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The data of satellite remote sensing can provide real-time information of the earth's surface accurately. Now the commercial satellites can provide the satellite images with the resolution between 10 meter and 1 meter. With those high spatial resolution images, shape features and texture features of the ground objects including large buildings of city, roads, rivers, lakes and other man-made objects are very clear. With the characters of the high resolution satellite image, we will use the recognition of the type of water bodies as an example, begin with the extraction of the spectrum features of the ground objects from the satellite digital images, separate water bodies from background and recognize it through the classification of the image, implement the recombination of the pixels, then extract and describe the shape features of water bodies and implement the recognition of various water bodies on the partition of areas and the tracing of boundary. The experiments of the recognition of various types of water bodies on the satellite image prove this recognizing method is feasible with high spatial resolution satellite images.

Key words: pattern recognition; satellite image; feature extraction

首期“土地科学论坛”举办

由中国科学院地理科学与资源研究所土地覆被变化与土地资源研究室主办,以“介绍土地科学研究前沿领域和新技术方法,加强国内外学术交流”为宗旨的第1期“土地科学论坛”于2000年12月14日在本所举行。本次论坛由张锦锂研究员主持,李秀彬副所长致开幕词。中国土地勘测规划院院长程烨研究员以“土地管理系统分析”为主题,全面阐述了现行土地管理科学问题与学术思路探讨。来自北京大学、北京师范大学、中国农业大学、首都师范大学以及所内的五十多位从事土地科学研究的科教人员、硕士和博士生们参加了学术讨论。

与会者就“土地管理部门的职能与作用”、“我国土地利用规划中‘占一补一’措施如何实施?”、“城乡结合部问题”、“从中央到地方,各级怎样看待土地利用变化的特点?”以及“土地覆被变化的驱动中,地方作用大还是省级部门的作用大?”等一系列的问题,进行了深入的研讨。论坛使大家将科研的视角与管理的视角相融合,既开阔了视野,也促进了理论与实践、科研与服务目标的结合。

(土地覆被变化与土地资源研究室 供稿)