

文章编号: 1007-4619(2007)04-0487-06

# 综合非光谱信息的荒漠化土地 CART 分类

王大鹏<sup>1,2</sup>, 王周龙<sup>1</sup>, 李德一<sup>1</sup>, 崔青春<sup>1</sup>

(1 鲁东大学地理与资源管理学院, 山东烟台 264025 2 枣庄学院, 山东枣庄 277160)

**摘要:** 用遥感手段对荒漠化进行监测是当前荒漠化研究的热点问题, 传统的荒漠化遥感信息自动提取方法是基于光谱特征的图像分割, 受多种因素的影响, 分类精度的提高遇到瓶颈, 因此基于知识的分类方法应运而生。

CART 是一种非参数化的分类与回归方法, 在用于遥感影像自动分类时, 可以方便地应用多源知识, 提高分类精度。本文在分析了 CART 方法原理的基础上, 针对荒漠化地区各种地物的特点, 将包括地物光谱知识、纹理知识、植被盖度等在内的多种知识融入 CART 模型, 克服了单纯利用光谱特征进行分类的不足, 取得了 85.94% 的精度。

**关键词:** 知识; 荒漠化; CART; 自动提取

**中图分类号:** TP751.1 **文献标识码:** A

## The Extraction of Desertification Information Using CART under Knowledge Guide

WANG Da-peng<sup>2</sup>, WANG Zhou-long, LI De-yi, CUI Qing-chun

(1. College of Geography & Resource Management, Ludong University, Shandong Yantai 264025, China;  
2. Zaozhuang College, Shandong Zaozhuang 277160, China)

**Abstract:** Remote sensing plays an important role in desertification monitoring. The traditional remote sensing information of desertification automatic extraction method is image segmentation based on spectral characteristics. Influenced by various factors, the improvement of class precision encounters barrier and the knowledge-based classifying method comes into being. CART is a kind of non-parameter classification and regression method which uses multi-source data to improve classification accuracy when used in automatic classification based on remote sensing images. After analyzing the principle of CART method, we put spectral knowledge, texture knowledge and vegetation coverage together into CART model, the deficiency of simply using spectral characteristics is overcome and an accuracy of 85.94% is obtained.

**Key words:** knowledge; desertification; CART; automatic extraction

## 1 引言

中国是受荒漠化影响较为严重的国家, 及时有效地掌握荒漠化的分布和数量信息, 对于荒漠化防治和资源环境保护有着重要的意义。

遥感技术以其观测范围广、信息量大、数据更新快和精度高等优势在荒漠化监测中取得了广泛应用。

近年来, 已有不少学者针对荒漠化遥感信息的提取和监测进行了多方研究<sup>[1-5]</sup>。但目前在荒漠化遥感信息自动提取中所使用的方法大多是根据像元的阈值对影像进行分割, 或者对影像作不同的增强和变换, 以达到增大类间差异的目的, 而后再选取适当的阈值对影像进行分割。但由于成像过程中受大气、地形、传感器以及荒漠化地物自身条件的影响, 地物光谱反射信息的丢失和变异在所难免, 其结果是造成

收稿日期: 2006-04-26 修订日期: 2006-11-26

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 40301025), 鲁东大学校基金(编号: 202-19070301)。

作者简介: 王大鹏(1981—), 男, 硕士研究生, 研究方向为资源环境遥感, 已发表论文 5 篇。

了同物异谱和异物同谱现象在遥感影像中的普遍存在。因此,无论采用何种算法,单纯的利用影像本身的亮度特征来提取地物都是远远不够的。实践证明,应用专家知识作为辅助数据,是提高遥感影像分类精度的有效手段<sup>[6-9]</sup>。分类回归树(Classification and Regression Tree, CART)是一种有效的知识挖掘和应用方法,在遥感图像处理领域的应用方兴未艾<sup>[10-13]</sup>。本文在分析 CART 原理的基础上,以额济纳绿洲及周围区域为例,探讨了将纹理熵、植被盖度和原始遥感影像作为测试样本和分类条件,使用 CART 方法对荒漠化信息进行自动提取的方法。

## 2 分类回归树原理

分类回归树是 Breiman 于 1984 年提出的一种数据分析的非参数统计算法,其原理是对一个由测试变量和目标变量构成的已知类别的训练样本集,依据一定的规则进行二分,形成二叉树结构,并对每一个子节点循环二分,直至不可再分成为叶节点<sup>[14-21]</sup>(图 1)。在这一过程中,训练样本是否足够大,是分割结果准确性的重要因素。

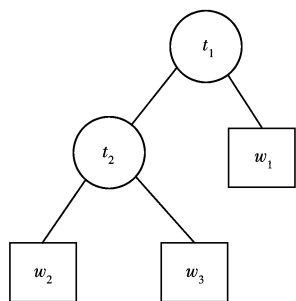


图 1 CART 生成示意图  
Fig 1 Sketch map of CART

设样本集  $w_j = \{w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}, \dots, w_{jn}, y_j\}$ , 其中  $w_j$  到  $w_n$  为测试变量,  $y$  为目标变量, 当  $y$  有序时称为回归树, 当  $y$  离散时称为分类树。因此, 该方法既可以用于分类, 也可用于预测。理想的 CART 应当具有相对较少的分枝和中间节点, 而具有较高的预测或分类能力。

CART 的生长开始于包含所有样本集的根节点, 根据每个测试变量  $w_i$  的类型定义测试变量的标准问题集, 根据一个判决规则对根节点进行分枝, 除叶节点外的每一个节点都被继续分割为左节点  $t$  和右节点  $k$ 。

设  $\xi(t)$  为节点  $t$  的熵, 则有:

$$\xi(t) = - \sum_{j=1}^k P(w_j|t) \log_2 P(w_j|t) \quad (1)$$

式中,  $P(w_j|t)$  为  $w_j$  在节点  $t$  处属于  $w_j$  的概率。 $\xi(t)$  的值越小, 表示节点  $t$  越纯。

设  $t$  为节点  $t$  分割为子节点  $t$  和  $k$  的判决规则,  $P_L$  和  $P_R$  为  $t$  和  $k$  产生的概率, 则有:

$$\Delta \xi(t) = \xi(t) - P_L \xi(t) - P_R \xi(k) \quad (2)$$

公式(2)称为杂质消减, 在理想的分类回归树中, 杂质消减最大。

每个节点重复上述操作, 当节点再次分割所产生的两个子节点的熵无明显减少时,  $P(w_j|t)$  达最大值, 节点不可再分成为叶节点, 一棵完整的分类回归树生长完成。

为避免分类回归树的过度生长, 在树的生长过程中需进行必要的剪枝。CART 以代价复杂度最低原则(MCC)进行决策树的修剪, 其表示方法为:

$$R_c(T) = R(T) + a|T| \quad (3)$$

式中,  $|T|$  为该树叶节点个数,  $a$  为复杂度参数,  $a \geq 0$ ,  $R_c(T)$  为该树加权错分率与对复杂度处罚值之和的复合成本。

在对树  $T$  修剪的过程中会产生一系列的子树  $T_1, T_2, T_3, \dots$ , 通过评估, 可以确定其中最优的一棵。决策树评估方法主要有测试样本评估和交叉验证评估两种, 交叉验证的方法在数据挖掘中应用较为广泛, 它将整个训练集分成若干子集, 每次建树都以其中一个子集作为测试样本, 而其他子集作为该树的训练样本, 依此类推, 使训练集中的每个子集都参与测试。这样平均误分率就是测试过程中所有误分类数总和与训练样本总数的比值。通过对子树的评估, 选择其中平均误分代价最小的一棵作为最终决策树。

## 3 荒漠化信息自动提取

### 3.1 研究区概况与试验数据

额济纳绿洲位于额济纳河(黑河由甘肃鼎新流入内蒙古后称为额济纳河, 又称弱水)下游额济纳冲积三角洲北部的额济纳旗(东经:  $99^{\circ}25' - 102^{\circ}$ , 北纬:  $40^{\circ}10' - 42^{\circ}30'$ )境内, 源于祁连山的黑河是流入额济纳绿洲的惟一季节性河流。20 世纪 50 年代以来, 随着人类开发程度的加大及上游来水的不断减少, 额济纳绿洲荒漠化过程加剧, 绿洲萎缩, 生态环境恶化现象十分突出<sup>[22, 23]</sup>。

研究所使用数据为 2004 年 8 月 20 日 Landsat

ETM影像, 具有 TM<sub>1</sub>—TM<sub>5</sub>、TM<sub>7</sub> 等共 6 个波段, 影像质量良好, 无云, 无数据丢失。另有研究区 2001 年土地利用现状图\*及其他相关图文资料作为参考资料。鉴于本文主要内容为荒漠化遥感信息的提取方法研究, 从原始影像中截取额济纳绿洲主体及周围一块长方形的典型区域作为试验区, 该区域基本包含了额济纳三角洲地区的所有地物类型, 具有代表性。

### 3.2 CART 构建

根据影像自身特征, 2001 年土地利用现状图和实地调查, 将试验区的土地覆盖和荒漠化类型划分为绿洲、水体、戈壁、流沙地、平沙地和干湖盆等 6 类 (居民地分布较为分散, 且斑块大小一般不超过 4 个像元, 因此未作一类; 一些军事设施被忽略), 在影像中分别给各地物类型选取一定数量的训练样本, 为保证 CART 的训练效果, 共选取了 1800 个样本。

光谱响应特征是遥感影像地物识别最直接也是最重要的解译元素<sup>[19]</sup>。在荒漠化地区, 水体、裸露平沙地等地物由于物质组成的不同而具有与其他地物各不相同的光谱特征 (图 2), 利用像元在不同波段的亮度特征即可提取。

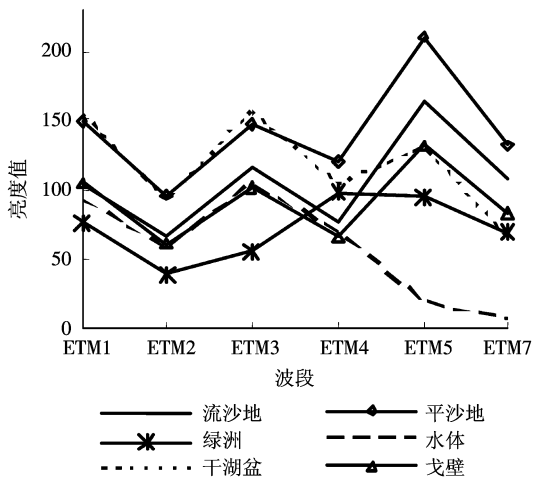


图 2 典型地物光谱响应曲线

Fig 2 Spectral signatures curves of typical objects

纹理结构反映了图像亮度的空间变化情况, 纹理分析在数字图像处理中有着重要的作用<sup>[24-27]</sup>。灰度共生矩阵 (GLCM) 是目前最常用的一种纹理统计分析方法, 由灰度共生矩阵计算得出的熵 (Entropy, 如公式 (4)) 可以表现图像亮度信息的空间复杂性和纹理的混乱程度, 地物亮度差别越小, 纹

理越简单其熵值越小, 反之越大。在荒漠化影像中, 流沙地与戈壁由于部分组成物质的相似使得其光谱曲线在各波段的变化节律十分相似, 虽平均亮度稍有差异, 但亮度区间重叠较大, 仅利用像元亮度特征不易区分。但二者在纹理上的差别却十分明显: 流沙地内均匀的分布着波浪状沙丘链, 而戈壁内部几乎无纹理, 因此流沙地的纹理熵要大于戈壁。纹理通常表现在一定的尺度上, 纹理分析的窗口大小直接影响纹理分析的结果。流沙地的纹理主要是以沙丘链为单元波纹, 因此, 纹理分析的窗口应与沙丘链的宽度相适应。通过试验, 确定窗口大小为  $7 \times 7$ , 步长为 1。

$$E = - \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ij} \log \frac{P_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N P_{ij}(d, \theta)} \quad (4)$$

植被盖度是区分荒漠化地物的重要指标<sup>[28-31]</sup>, 绿洲与荒漠化土地的最大区别便是植被盖度的不同。研究表明, NDVI 同植被盖度有着较好的相关性, 适用于干旱区植被信息的提取<sup>[32]</sup>, 因而, NDVI 可以参与分类过程, 作为区分绿洲和荒漠的分类依据。

如何利用训练样本中获取的知识构建判决规则是分类和回归的关键, 本文使用了产生式表示法, 将知识表达为: “IF <条件> THEN <结论>” 的形式。该方法具有直观、高效的优点, 便于知识的表达, 且符合人的思维习惯, 易于理解, 是目前应用较为广泛的一种知识表达方法。

### 3.3 基于 CART 的荒漠化遥感影像分类

根据以上分析, 利用 ETM 原始影像, NDVI 和纹理熵等构成的训练样本对决策树进行训练。以原始影像作为根节点, 给树中每一节点都赋予一条判决规则, 对遥感影像进行分类, 评估后得到有 5 个层和 11 个节点的最终决策树。分类模型如下:

```

IF ( ETM5 < ETM4 AND ETM4 < ETM3 ) THEN
  水体
ELSE IF ( NDVI > -0.12 ) THEN 绿洲
  ELSE IF ( ETM5 > 184 AND ETM2 > 82 )
    THEN 平沙地
  ELSE IF ( 45 < ETM2 < 75 And 73 < ETM3
    < 139 ) THEN 流沙地或戈壁
  IF ( Entropy > 2.9 ) THEN 流沙地 ELSE
    戈壁 END IF

```

\* 该图数据源为 2001 年 8 月 22 日 ETM 遥感影像, 是中国科学院知识创新工程重要方向项目“黑河流域水—经济—生态环境综合治理试验示范 (KZCX-SW-329)” 的成果之一。

ELSE干湖盆 ENDF... ..

### 3.4 分类精度评价

精度评价是通过对比分类结果与参考数据之间的混淆矩阵实现的。采用随机方法生成一定数目的评价样本像素,通过比较试验样本的分类数据和参

考数据而计算出误差矩阵,由误差矩阵最终得到 Kappa系数, Kappa系数的大小反映了分类的精度。由于荒漠化地区实地调查难度较大,本文的精度评价参考数据主要采用原始影像目视解译的结果,对于判断不准的像元再通过实地考察确定其类别(图 3)。评价结果如表 1。

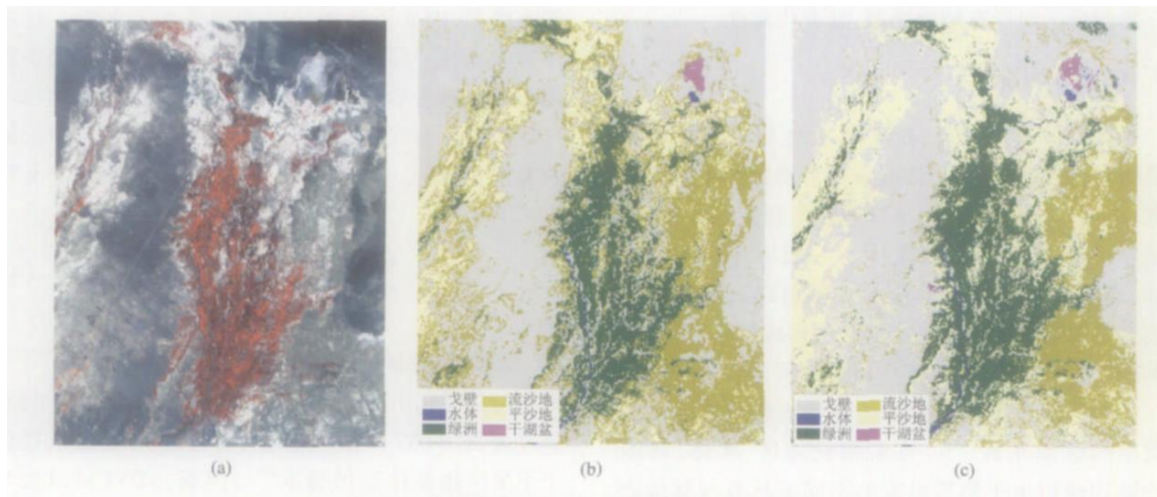


图 3 原始影像与两种分类方法分类结果的对比

(a) 原始影像; (b) CART自动分类结果; (c) MLC监督分类结果

Fig 3 Comparison between original image and extraction result of two classification methods

(a) original image; (b) CART-based classification; (c) MLC-based supervised classification

表 1 分类结果混淆矩阵和精度评价

Table 1 Accuracy assessment and confusion matrix

地物	戈壁	流沙地	平沙地	绿洲	干湖盆	水体	参考总数	用户精度 /%	Kappa
戈壁	87	17	2	4	1	1	112	77.68	0.6599
流沙地	1	64	2	1	0	0	69	92.75	0.8928
平沙地	0	0	25	0	1	0	26	96.15	0.9564
绿洲	0	2	1	34	0	0	37	91.89	0.9030
干湖盆	0	0	0	0	3	0	3	100	1.0000
水体	0	0	0	2	0	7	9	77.78	0.7706
分类总数	88	83	30	42	5	8	256	—	—
生产精度 /%	98.86	77.11	83.33	80.95	60.00	87.50	—	—	—

总精度: 85.94% Kappa系数: 0.8061

## 4 结论

(1) 从评价结果看,知识引导下的 CART分类的总精度达到 85.94%,而最大似然法监督分类的精度只有 68.75%,二者相差将近 20个百分点。从单一地物的分类精度看(图 4),CART分类也表现出极大的优越性,除戈壁的用户精度略低于监督分类外,其他各种地物的生产精度和用户精度都高于监督分类。

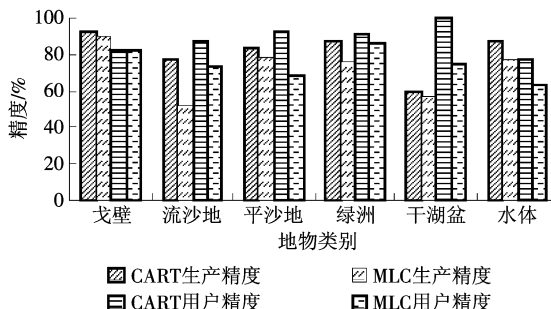


图 4 两种分类方法精度的比较

Fig 4 Comparison of accuracy between two classification methods

(2) CART 是一种非参数化的分类与回归方法, 在用于遥感影像自动分类时, 可以方便地应用多源知识, 以提高分类精度。本研究将包括地物光谱知识、纹理知识、植被盖度等在内的多种知识作为 CART 的测试样本, 克服了单纯利用光谱特征进行分类的不足, 取得了较好的分类结果, 这说明将纹理等知识作为辅助数据用于提高分类精度是有效的, 用 CART 方法对荒漠化地区遥感影像进行高精度分类是可行的。

(3) 分析混淆矩阵可以看出, 流沙地同戈壁混淆最大, 这是因为区分二者的主要依据是纹理熵值的大小, 而在流沙与戈壁的交汇处由于沙层较薄, 表面较为平整, 纹理不明显; 此外, 在绿洲和平沙地内部出现的流沙斑块, 由于面积小, 纹理特征亦不明显。上述两个原因造成了部分流沙地被误分为戈壁。

(4) 荒漠化是一种复杂的地理现象, 对荒漠化的类型进行评价的指标有很多, 比如流沙面积比、植被盖度、气候因素、周围环境、人为因素影响等。本研究是以遥感影像及其派生图像为对象, 以像元为单位的自动分类, 受研究资料的限制, 在分类模型的构建过程中未考虑气候因素、人为因素以及除纹理以外的其他周围环境的影响, 这就使分类结果中含有一定程度的不合理性。比如, 在一片盖度为 0 的流沙中出现一个盖度为 0.7 的像元, 在本文的分类模型中该像元会被划分为绿洲, 而实际上这一单个像元是不能称为绿洲的。因此本研究所建立的模型虽然取得了较好的分类结果, 但还有待进一步完善, 以使判决规则和分类结果更符合实际。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Qiao P L, Zhang J X, Lin Z J. An Artificial Neural Network Method for the Information of Desertification Extraction [ J ]. Acta Geodaetica Et Cartographica Sinica, 2004, 33(1): 58—62 [ 乔平林, 张继贤, 林宗坚. 基于神经网络的土地荒漠化信息提取方法研究 [ J ]. 测绘学报, 2004, 33(1): 58—62 ]
- [ 2 ] Wang X H, Li Z Y, Gao Z H, et al. Information Extraction of Sandy Land [ J ]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(3): 82—87. [ 王晓慧, 李增元, 高志海等. 沙化土地信息提取研究 [ J ]. 林业科学, 2005, 41(3): 82—87 ]
- [ 3 ] Liu T H, Wu X H, Dong Y P, et al. A Review of Study on the Remote Sensing Information of Land Desertification [ J ]. Remote Sensing Technology and Application, 2004, 19(6): 526—532. [ 刘同海, 吴新宏, 董永平等. 荒漠化遥感信息研究综述 [ J ]. 遥感技术与应用, 2004, 19(6): 526—532 ]
- [ 4 ] Wang J, Dong G R, Li W J, et al. Primary Study on the Multi-Layer Remote Sensing Information Extraction of Desertification Land Types by Using Decision Tree Technology [ J ]. Journal of Desert Research, 2000, 20(3): 243—247. [ 王建, 董光荣, 李文君等. 利用遥感信息决策树方法分层提取荒漠化土地类型的研究探讨 [ J ]. 中国沙漠, 2000, 20(3): 243—247 ]
- [ 5 ] Li B L, Zhou C H. A Study on Monitoring Sandy Desertification in Sandy Land of West-Northeast China Plain [ J ]. Journal of Remote Sensing, 2002, 6(2): 117—122 [ 李宝林, 周成虎. 东北平原西部沙地沙质荒漠化的遥感监测研究 [ J ]. 遥感学报, 2002, 6(2): 117—122 ]
- [ 6 ] Wang Z L, Feng X Z, Liu X M, et al. The Techniques of Deriving Landuse Information from SPOT Images and Study on Thematic Mapping in the field of Qinhuai River [ J ]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(2): 131—135 [ 王周龙, 冯学智, 刘晓玫等. 秦淮河丘陵地区土地利用遥感信息提取及制图 [ J ]. 遥感学报, 2003, 7(2): 131—135 ]
- [ 7 ] Dobson M C. Knowledge-Based Land-Cover Classification Using ERS-1/JERS-1 SAR Composites [ J ]. IEEE Transaction of Geoscience & Remote Sensing, 1996, 34(1): 83—99.
- [ 8 ] Qin Q M. The Problem and Approach in the Auto-interpretation of Remote Sensing Image [ J ]. Developments in Surveying and Mapping, 2000, 25(2): 21—24 [ 秦其明. 遥感图像自动解译面临的问题与解决的途径 [ J ]. 测绘科学, 2000, 25(2): 21—24 ]
- [ 9 ] Wang Y Y, Li J. Classification Methods of Land Use/Cover Based on Remote Sensing Technology [ J ]. Remote Sensing Information, 2004, 1: 53—59 [ 王园园, 李京. 遥感影像土地利用/覆盖分类方法研究综述 [ J ]. 遥感信息, 2004, 1: 53—59 ]
- [ 10 ] Zhao P, Fu Y F, Zheng L G, et al. Can based Land Use/cover Classification of Remote Sensing Images [ J ]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(6): 708—716 [ 赵萍, 傅云飞, 郑刘根等. 基于分类回归树分析的遥感影像土地利用/覆盖分类研究 [ J ]. 遥感学报, 2005, 9(6): 708—716 ]
- [ 11 ] Yang C C, Prasher Shiv Q, Enright Peter, et al. Application of Decision Tree Technology for Image Classification Using Remote Sensing Data [ J ]. Agricultural Systems, 2003, 76(3): 1101—1117.
- [ 12 ] Breiman H R, Clark R T. Use of Classification and Regression Trees ( CART ) to Classification Remote Sensed Digital Images [ J ]. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003, 7(6): 3751—3753.
- [ 13 ] Sugumaran Ramana than, Pawlurji Manoj Kumar, et al. The Use of High-Resolution Images for Identification of Urban Climate Forest Species Using Traditional and Rule-Based Classification Approach [ J ]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2003, 41(9): 1933—1939.
- [ 14 ] Chyon-Hwa Yeh. Classification and Regression Tree ( CART ) [ J ]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 1991, 12(1): 95—96.
- [ 15 ] Breiman L, Friedman J H, Olshen R A, et al. Classification and Regression Trees [ M ]. Monterey, Calif USA: Wadsworth,

- nc, 1984
- [ 16] Yischaac Yohannes, John Hoddinott. Classification and Regression Trees: an Introduction [ D]. Washington, D. C., USA: International Food Policy Research Institute, 1999
- [ 17] Michelle A Johnson, CHendricks Brown, Susan JWells. Using Classification and Regression Tree ( CART) to Support Worker Decision Making [ J]. Social Worker Research, 2002, 26( 1): 19—29
- [ 18] Zhang L B, Zhang Q Q, Xu F, et al. Research and Application of the Statistical Models Based on CART [ J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2002, 30( 4): 315—318 [ 张立彬, 张其前, 胥芳等. 基于分类回归树 ( CART) 方法的统计分析模型的应用与研究 [ J]. 浙江工业大学学报, 2002, 30( 4): 315—318 ]
- [ 19] Zhang S L. An Introduction to the Methodology of CART Classification and Regression Trees [ J]. Volcanology and Mineral Resources, 1997, 18( 1): 67—75 [ 张松林. CART 分类回归树方法介绍 [ J]. 火山地质与矿产, 1997, 18( 1): 67—75 ]
- [ 20] Li Y, He Y B, Ma L, et al. A Study on Abnormality Brightness by Classification and Regression Tree Methods [ J]. Journal of Beijing Normal University ( Natural Science), 2003, 39( 2): 143—146 [ 李勇, 何洋波, 马丽等. 用分类回归树方法研究亮温异常变化 [ J]. 北京师范大学学报 ( 自然科学版), 2003, 39( 2): 143—146 ]
- [ 21] Chen W W, Huang J C. Data Mining and Data Warehouse [ M]. Beijing: China People Post Press, 2004 [ 陈文伟, 黄金才. 数据仓库与数据挖掘 [ M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004 ]
- [ 22] Li S, Li F, Sun W, et al. Modern Desertification Process in Ejina Oasis and Its Dynamic Mechanism [ J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24( 1): 61—67 [ 李森, 李凡, 孙武. 黑河下游额济纳绿洲现代荒漠化过程及其驱动机制 [ J]. 地理科学, 2004, 24( 1): 61—67 ]
- [ 23] Cao Y, Ouyang H, Xiao D N, et al. Landscape Change and its Environmental Effects in Ejina Natural Oasis [ J]. Geographical Research, 2005, 24( 1): 130—139 [ 曹宇, 欧阳华, 肖笃宁等. 额济纳天然绿洲景观变化及其生态环境效应 [ J]. 地理研究, 2005, 24( 1): 130—139 ]
- [ 24] Jiang Q X, Liu H P. Extracting TM Image Information Using Texture Analysis [ J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 9( 5): 458—464 [ 姜青香, 刘慧平. 利用纹理分析方法提取 TM 图像信息 [ J]. 遥感学报, 2004, 9( 5): 458—464 ]
- [ 25] Li B C, Peng T Q, Peng B, et al. Technology of Intelligent Image Processing [ M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004 [ 李弼程, 彭天强, 彭波等. 智能图像处理技术 [ M]. 北京: 电子工业出版社, 2004 ]
- [ 26] Liu L F, Chen Y H, Li J. Texture Analysis Methods Used in Remote Sensing Images [ J]. Remote Sensing Technology and Application, 2003, 12( 6): 441—447 [ 刘龙飞, 陈云浩, 李京. 遥感影像纹理分析方法综述与展望 [ J]. 遥感技术与应用, 2003, 12( 6): 441—447 ]
- [ 27] Nathaniel D Herold, Barry N Haack, Elizabeth Solomon. An Evaluation of Radar Texture for Land Use/Cover Extraction in Varied Landscapes [ J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004, 5: 113—128
- [ 28] Long J. The Application of Remote Sensing Technique to Sandy Desertification Assessment [ J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2005, 33( 1): 17—19 [ 龙晶. 沙化土地遥感评价方法 [ J]. 国土资源遥感, 2005, 33( 1): 17—19 ]
- [ 29] Niu B R. Study on Quantitative Extraction of Desertification Degree Information from Remote Sensing Information [ J]. Journal of Catastrophology, 2005, 20( 1): 18—21 [ 牛宝茹. 基于遥感信息的沙漠化灾害程度定量提取研究 [ J]. 灾害学, 2005, 20( 1): 18—21 ]
- [ 30] Ding G D. Study on Indicative Feature and Cover Classification of Vegetation in Regional Desertification Assessment [ J]. Journal of Soil Water Conservation, 2004, 18( 1): 158—160 [ 丁国栋. 区域荒漠化评价中植被的指示性及盖度分级标准研究 [ J]. 水土保持学报, 2004, 18( 1): 158—160 ]
- [ 31] Li H X, Li S, Zhou H Y, et al. Method of Desertified Lands Extraction Based on NDWI in Western Hainan Island [ J]. Journal of Desert Research, 2006, 26( 2): 215—219 [ 李辉霞, 李森, 周红艺等. 基于 NDWI 的海南岛西部沙漠化信息自动提取方法研究 [ J]. 中国沙漠, 2006, 26( 2): 215—219 ]
- [ 32] Gao Z H, Li Z Y, Wei H D, et al. Study on the Suitability of Vegetation Indices ( VI) in Arid Area [ J]. Journal of Desert Research, 2006, 26( 2): 243—248 [ 高志海, 李增元, 魏怀东等. 干旱地区植被指数 ( VI) 的适宜性研究 [ J]. 中国沙漠, 2006, 26( 2): 243—248 ]