

# 宏观生态环境遥感监测技术与应用分析

闫卫东

河北省地矿局第三水文工程地质大队

**摘要:** 随着遥感技术的快速发展,近年来各国纷纷推出全球环境遥感监测计划,如日本地球观测计划、NASA地球观测计划,宏观生态环境遥感监测技术也因此成为各国学界关注的焦点。基于此,本文将简单介绍宏观生态环境遥感监测系统,并深入探讨宏观生态环境遥感监测技术及其应用,希望研究内容能够为相关从业人员带来一定启发。

**关键词:** 宏观生态环境; 遥感技术; 监测系统; 植被类型

## 前言

在各国全球环境遥感监测计划支持下,人类与自然活动对地球环境影响的评估和区分获得有力依据,全球环境变化的综合预测也获得有力支持。为满足我国宏观生态环境遥感监测业务应用模式和运行方案需要,必须围绕宏观生态环境遥感监测技术的应用开展针对性研究,本文研究将主要围绕土地利用自动分类、植被类型高光谱分类、森林内部结构遥感分类三方面内容展开,涉及到的分类原理包括基于规则的土地利用分类模型算法、影像提取植被端元光谱曲线及不同植被类型的光谱特征及差异、光谱角填图法、非监督分类法、最大似然法、决策树分类法、高分辨率遥感影像形状与纹理特征等,研究可较好服务于土地利用自动分类。

## 一、宏观生态环境遥感监测系统

### (一) 系统构成

在宏观生态环境遥感监测技术的应用中,宏观生态环境遥感监测系统在其中发挥着关键性作用,该系统由多个业务子系统组成,包括全球环境变化、区域生态环境灾害、固废、土壤、国家生态建设区、重要生态功能区、大型工程/区域开发项目、国家级自然保护区、城市环境的遥感监测与评价子系统,以及全国生态环境质量评价子系统。系统由三个层级组成,包括表示层、应用层、数据层,其中表示层包括应用产品、生态专题数据产品、基本数据三部分;应用层可细分为紧急应用、专题应用、区域应用三部分,紧急应用包括环境灾害与区域生态遥感应用,专题应用包括全球环境变化、固态生态影响、土壤、国家生态建设区效果、重要生态功能区、大型工程开发项目、国家级自然保护区,具体应用包括遥感监测、评价、动态监测,区域应用包括城市及全国生态环境质量的监测与评价;数据层由产品数据、生态遥感模型与参数、生态遥感专用数据、基础地理数据组成。

深入分析可以发现,宏观生态环境遥感监测系统的表示层由各个业务功能界面组成,具备可视化表达、生成评价结果、生成专题图、模拟生态环境监测结果、用户交互、数据显示功能;应用层可为业务系统提供数据支持,基于多种数据源,即可实现数据的提取、转换、抽取,并能够完成各类生态环境的监测与评价;数据层可满足不同尺度的数据支持应用,涉及的数据包括全国土壤数据、全国土地资源数据、中国生态研究网络综合数据、生态敏感目标专题数据等,由此即可提供景观生态指数、地表物理参数、生物物理参数、土地利用数据等产品<sup>[2]</sup>。

### (二) 业务流程及功能组成

宏观生态环境遥感监测系统的常规模式业务流程可概括为:

“生产计划→生产任务→生产命令→执行产品生产→数据提取→图像处理与专题产品服务/数据提取反馈→产品生产→产品归档→数据归档→更新任务状态→结束”,应急模式业务流程可以概括为:“生产命令→记录任务→执行产品服务→数据提取→数据提取反馈/图像处理与专题产品服务→产品生产→产品归档→数据归档→更新任务状态→结束”。系统共具备130多个模块,涵盖的核心功能较为复杂,较为代表性的有二氧化碳监测与分析、土壤退化遥感监测、退耕还林还草工程区监测评价、扬尘监测与评价、洪水生态遥感监测、城市绿地遥感监测等。

### (三) 关键技术

宏观生态环境遥感监测系统涉及的关键技术包括模型转换与实现技术、实时投影转换技术等。围绕模型转换与实现技术分析可以发现,该技术采用模型驱动架构(MAD)的方法解决数据运算和模型运算相结合问题,模型转换与实现的流程可概括为:“目标应用特性平台应用特性→抽象→模型库/源模型→转

换和映射(映射规则/模型转换方法/模型验证技术/模型验证方法)→模型库/目标模型”,采用的转换方法包括结构驱动转换法、形式化UML类图转换法、XLST转换法、图文转换法、关系代数转换法、直接转换法、模式转换法;实时投影转换技术可建立平面点与球面点的映射关系,结合RS数据和GIS数据,即可通过选择一种兼顾转换精度和转换速度的转换策略,满足系统需要,配合文件形式和关系型数据库Oracle 10g混合的结构共同存放数据、XML数据实时交换技术,宏观生态环境遥感监测系统的实用性即可得到更好保障。

## 二、宏观生态环境遥感监测技术

上文提及的宏观生态环境遥感监测系统未涉及技术的具体应用,为提升研究的实践价值,本节将围绕基于监测遥感影像的宏观生态环境要素分类技术开展深入探讨。

### (一) 土地利用自动分类技术

土地利用自动分类技术将土地利用划分为六大一级类,分别为未利用土地、居工地、水域、草地、林地、耕地。未利用土地可细分为裸岩石砾地、裸土地、沼泽地、盐碱地、戈壁、沙地、其他,居工地包括农民居住点、城镇用地、其他建设用地,水域包括滩地、滩涂、永久性冰川雪地、水库坑塘、湖泊、河渠,草地包括疏林地、灌木林、有林地、其他林地,耕地包括旱地、水田。结合土地利用分类、人工解译的历史1:10土地利用数据、针对性的遥感影像,即可明确土地利用自动分类技术的应用流程,即:“土地利用遥感分类分区→环境小卫星影像/1:10土地利用矢量历史数据→样本区域(结合专家及先验知识)→空间分析→分类训练区→提取地类光谱数据→统计分析→建立三维特征空间→监测土地利用变化区域→变化像元分类(最短距离法)→基于规则的地类变化像元分类(结合土地利用变化规则)→分类后处理→土地利用自动分类结果”。在土地利用自动分类技术的应用中,较高的历史土地利用精度、生态学观点的借鉴、国家政策和相关措施的引入极为关键。

在样本提取环节,需应用如下公式:

$$Pa_j = \frac{\sum_{j=0}^x Ac_{ij}}{As_i} \quad (1)$$

式中的Pa为按不同地类计算历史土地利用矢量数据得到的所有斑块面积(选取的累加面积)Pa<sub>i</sub>、As<sub>i</sub>、 $\sum_{j=0}^x Ac_{ij}$ 分别为第i类土地利用类型的选取样本阈值、所有斑块面积、按面积从高到低排序要进行累加的面积,Pa的面积在55%~65%区间;在分区训练区确定中,缓冲区距离的确定需基于式(2)进行,式中的P<sub>buffer</sub>、Ab<sub>d</sub>、A分别为斑块缓冲区分阈值、进行缓冲区分析的面积(基于距离D)、斑块面积,其中D为负值。

$$P_{buffer} = \frac{Ab_d}{A}, d < 0 \quad (2)$$

在建立三维特征空间的过程中,需结合三维的正交分解,因此可得式(3)所示的三维特征空间模型,该模型基于训练区统计分析构建,式中的i、p<sub>ji</sub>分别为第i类土地的利用类型及其第j类主成份,MP<sub>ji</sub>、σ<sub>ji</sub>分别为第i类土地利用类型的第j类主成份均值与标准差。

$$\sum_{j=1}^3 \frac{(P_{ji} - MP_{ji})^2}{\sigma_j^2} < c^2 \quad (3)$$

在变化像元检测与自动分类过程中,需首先确定变化区域,并分类定向每一个变化像元,这一过程需在特征空间中带入变化像元的基础数据,即光谱数据三个主成分,并由此开展最短距离运算,这一运算需采用式(4)所示公式,式中的P<sub>jm</sub>、d<sub>mi</sub>分别为第m个变化像元的第j主成分、距离对于第i类土地利用类型特征空间的三维欧式距离,ci、MP<sub>ji</sub>分别为第i类土地利用类型的特征空间参数值、第j主成份均值,变化像元的初次分类可由此结合最小d<sub>mi</sub>选取实现。

$$\begin{cases} dmi = \sum_{j=1}^3 \frac{(P_{jm} - MP_{ji})^2}{\sigma_j^2} / ci^2 \\ \min(dmi) \end{cases} \quad (4)$$

初次分类结束后，还需要采用基于规则的最短距离公式实现变化像元的二次分类，即：

$$dLmi = \rho_{ij} * dmi \quad (5)$$

式中的dLmi、 $\rho_{ij}$ 、dmi分别为基于规则的第i类土地利用特征空间距离第m个像元距离的最短距离、第j类土地利用类型由第i类土地利用类型转换过程中的阻力系数、最初一次变化定向距离。分类结果修正需依据溶蚀算法或采用ENVI图像处理软件，地类的连续性可由此得到保障。基于实际数据开展研究，即可提供土地利用变化规律，关键充足样本可更好满足土地利用自动分类技术需要。研究中训练区自动选取的最优参数值为（60%，50%~60%），即（ $P_{a1}$ ， $P_{buffer}$ ）的组合值，为抵消Ci误差带来的影响，需合理应用基于光谱特征的变化像元定向。深入分析可以发现，本节研究的技术可较好消除“同谱异物”、“同物异谱”、混合像元等现象对土地利用自动分类精度造成的影响，配合历史时期精确地土地利用矢量数据，自动分类在保证精度的前提下得以最大程度实现，技术的应用效率和实用性以此得到较好保障<sup>[4]</sup>。

### （二）植被类型高光谱分类技术

生态环境变化可通过植被得到直观反映，因此在宏观生态环境遥感监测中，植被类型高光谱分类技术可发挥关键性作用，结合环境与灾害监测预报小卫星采集的HSI高光谱数据，即可更好满足宏观生态环境遥感监测需要。在植被类型高光谱分类技术的具体应用中，需首先进行HSI高光谱数据预处理，数据预处理需围绕波段剔除、HSI数据检查、垂直条纹去除展开，这一过程需应用“全局去条纹”，图1为噪声较大波段影像图，图2为预处理后的影像图。

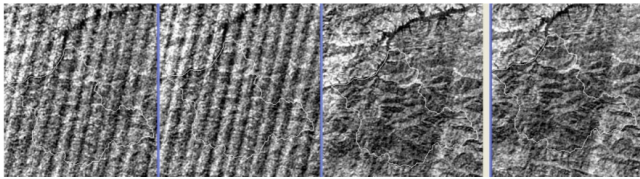


图1 噪声较大波段影像图

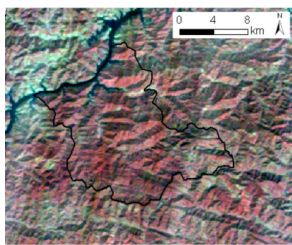


图2 预处理后的影像图

植被类型高光谱分类技术的应用还需要做好辅助数据的收集处理工作，由此收集1:20万植被图与珍稀植被覆盖点，并开展针对性外业调查，即可结合典型植被光谱特征提取，实现植被类型高光谱分类。在具体的典型植被光谱特征提取过程中，需借助GPS等测量仪器，并在遥感影像上建立感兴趣区，以此针对性选择训练样本，结合HJ-1A星传感器设计选择的波长范围，即可针对性完成光谱特征提取。植被类型高光谱分类属于植被类型高光谱分类技术的核心，分类过程需首先构建分类决策树，并针对性开展分类结果精度评价<sup>[5]</sup>。

在分类决策树的构建过程中，需重点确定各个“节点”的分类规则，并引入归一化水体指数、归一化植被指数及特征波段，以此建立决策树，实现植被与非植被、裸地与水体、植被类型的区分。在植被与非植被区分中，需基于水体与裸地整体亮度值相对较小的特征，因此区分需首先围绕植被与非植被展开，非植被的提取选择NDVI值判断，无植被覆盖区的NDVI值在0.1以下，因此即以0.1的NDVI值为阈值，完成植被与非植被区分；裸地与水体区分需结合遥感技术中水体低反射率与裸地较高反射率特性，水体与裸地的区分需引入NDWI，植被等背景地物信息可

同时得到较好抑制，考虑到一般情况下水体的NDWI值较大，采用-0.05的NDWI值作为阈值，NDWI值在-0.05以上的即为水体，裸地与水体区分可由此实现；植被类型区分需结合光谱知识库，由此通过针对性选取特征波段并开展数值运算，生成新的新特征变量，通过分析稀疏植被覆盖区光谱特征，研究选择B73特征波段为DN=300的分类阈值，呈现低亮度特征的常绿阔叶林选择B94-B82<150的分类阈值，灌丛与草从特征较为相似，设置分类规则为B93>400且NDVI<0.25，图3为总体决策树分类流程图。深入分析可以发现，植被类型高光谱分类技术可充分利用HSI高光谱数据的特性，配合光谱角填图法、非监督分类法、最大似然法、决策树分类法，HSI数据植被类型遥感分类的可行性由此得到了较好证明。

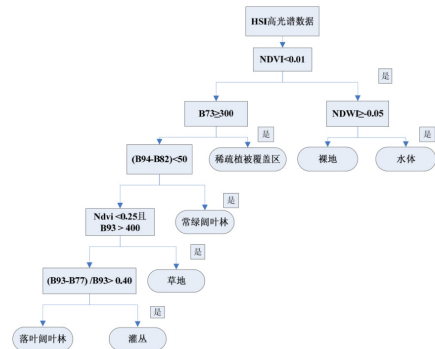


图3 总体决策树分类流程图

### （三）森林内部结构遥感分类技术

在宏观生态环境遥感监测中，森林内部结构信息提取向来属于学界研究的热点与难点，天然林与人工林的植被覆盖等森林内部结构信息的提取往往难以通过传统的光谱、建规则集方法实现，因此本文研究基于高空间分辨率遥感影像数据源为基础，通过区域生长算法面向对象多尺度高精度有效分割，配合合理选取样本、骨架线提取、Sobel边缘检测、去噪、二值化等方法，即可完成人工林与天然林纹理线特征的提取，结合流域河段与指纹，人工林与天然林植被覆盖信息指数指标的有效提取即可顺利实现<sup>[6]</sup>。

森林内部结构遥感分类技术的应用需首先进行森林内部结构分类，由此开展的影像分割需采用基于区域生长多尺度的分割算法，该算法源于Definers algorithm，分割后的影像可基于森林内部结构复杂度指数进行分类，具体流程可简单概括为：“SPOT-5高分辨率遥感影像预处理→植被指数and CLCM等统计分析→NO/YES→面向对象多尺度分割、自然与人工林样本选择/传统监督、非监督及建规则集的方法森林内部信息的提取→单位面积和纹理线条数指数指标计算及阈值确定→自然林与人工林植被覆盖分类→自然林植被覆盖区/人工林植被覆盖区确定”。在数据预处理环节，需围绕SPOT-5高分辨率遥感影像进行矫正、配准、镶嵌、裁剪、全色、影像光谱增强等处理，需采用Pansharpening融合法，由此处理后的影像数据清晰度与分辨率较高，色彩失真度较小，空间特征更为显著，整体效果的理想性可得到保障；影像分割需围绕面向对象多尺度分割展开，以此针对性选取样本图像，采用基于区域生长多尺度的分割算法，该算法源于Definers algorithm，样本图像的选取需围绕人工林与天然林各分割斑块影像资料反复对比展开，以此针对性选择代表性样本图像。深入分析可以发现，天然林纹理的随机性较强，粒度信息明显，人工林纹理的方向性、规则性较强，类似于指纹信息，呈条状纹理，这是人为因素起主导作用所致。进一步分析可以发现，天然林的纹理线条数较多且存在随机、杂乱无章特征，人工林纹理的行、列则基本处于固定状态，因此人工林与天然林植被覆盖信息可基于提取的森林内部结构复杂度指数指标确定。

在归一化纹理特征指数的提取过程中，需以面向对象多尺度的准确分割为基础，并针对性采用骨架线提取、Sobel边缘检测、去噪、二值化等方法，森林内部结构信息提取可由此顺利推进，获得的森林内部结构复杂度指标也能够较好服务于植被覆盖信息提取。在二值化与去噪环节，需采用细化算法，以此获得骨架线栅格图（二值图像），为避免信息不完整问题出现，同时采用Sobel算子边缘检测法，“椒盐”、“伪边缘”等现象可顺利

消除,人工林与天然林纹理的完整性也能够得到较好保障,重要的纹理信息丢失可得以避免,纹理骨架线的提取也能够获得有力支持。在Sobel算子边缘检测过程中,可确定45° Sobel算子检测可获得最为显著的人工林与天然林边缘栅格图纹理特征,人工林纹理线条较短、无规则、紊乱,天然林纹理较长且具有一定方向性。骨架线的提取采用Arcscan工具,提取需围绕45° Sobel算子边缘检测展开。在选取分类指标、确定阈值的过程中,需引入森林内部复杂度指数(归一化纹理特征指标),这一指数需通过归一化量化处理人工林与天然林纹理线条数指数指标获得,由此可得到图4所示的人工林与天然林植被覆盖区提取阈值曲线图。

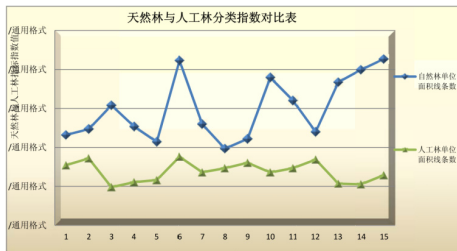


图4 人工林与天然林植被覆盖区提取阈值曲线图

结合图4可以发现,多数人工林植被覆盖区样本指标值小于天然林指标值,人工林与天然林内部结构复杂度指数在面向对象多尺度分割后的可分离性较差,人工林植被覆盖区指数指标均在0.1以上,而天然林则均在0.1以下,因此可基于0.1作为分类阈值,完成森林内部结构遥感分类。深入分析可以发现,森林内部结构遥感分类技术构建了一种新的提取人工林与天然林植被覆盖信息指数的方法,植被覆盖信息的有效提取得以实现,人工林中混有天然林、天然林中混有人工林情况的分辨可获得有力支持,高空分辨率影像在其中发挥着关键性作用。

### 三、宏观生态环境遥感监测技术的具体应用

为更深入了解宏观生态环境遥感监测技术,本节将围绕上文提及三种技术的具体应用开展深入探讨。

#### (一) 土地利用自动分类技术的应用

为验证土地利用自动分类技术的实用性,以上海市青浦区作为试验区,试验区大小为670.14km<sup>2</sup>,高程位于-14m-27m间,采用1:10万土地利用数据进行比较分析,即可基于土地利用自动分类技术得到图5所示的基于规则的土地利用自动分类结果。进一步分析可以发现,图5所示结果在遥感数据与分类结果的匹配性较好。

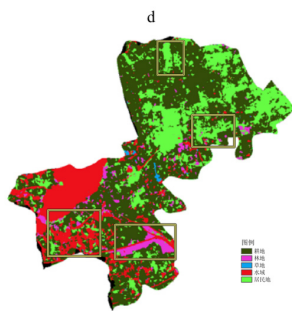


图5 基于规则的土地利用自动分类结果

进一步分析总体空间分类精度,可确定应用土地利用自动分类技术得到的结果与人工解译结果较为接近,误差较小,精度在可接受的范围内。开展一致性检验,可确定基于土地利用自动分类技术得到的自动分类结果与人工解译结果存在较高的一致性,可满足土地利用自动分类精度要求,但在城市区域林地和草地的分类中,该技术的应用较为容易出现误差,因此技术较为适用于城市扩张等方面的研究。

#### (二) 植被类型高光谱分类技术的应用

以广西金钟山自然保护区作为试验区,实验区面积为8227.7hm<sup>2</sup>,森林植被保存完好,图6为应用植被类型高光谱分类技术得到的保护区内典型地物波谱曲线,图7为基于HIS数据的分类结果图。

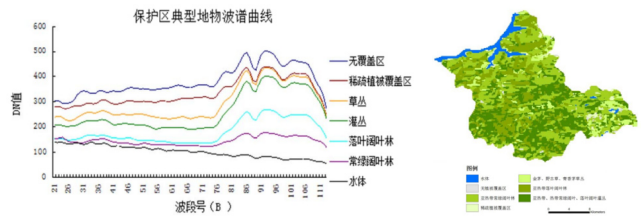


图6 保护区内典型地物波谱曲线 图7 基于HIS数据的分类结果图

结合图7可以了解到,植被类型高光谱分类技术在应用中的总体精度为83.74%, Kappa系数为0.805,分类精度较高、效果较好,水体分类精度达到94.825,但技术在稀疏植被覆盖区的分类精度较低,技术无法较好区分稀疏植被覆盖区与草地,这是由于二者亮度值十分接近,分类精度因此受到较为负面影响。

#### (三) 森林内部结构遥感分类技术的应用

选择纳板河流域自然保护区作为试验区,占地面积为261km<sup>2</sup>,图8为研究区典型天然林与人工林植被覆盖区示意图(SPOT-5高分辨率遥感影像)。

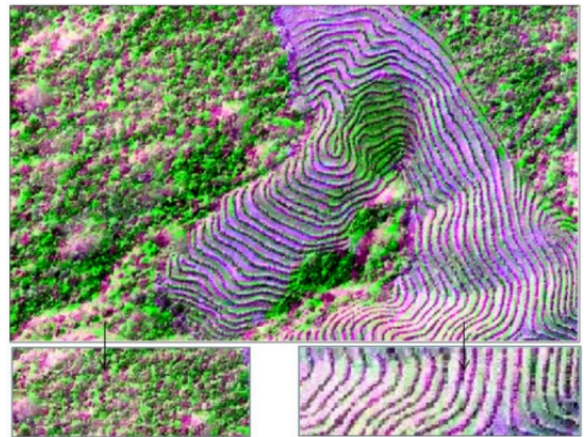


图8 研究区典型天然林与人工林植被覆盖区示意图

森林内部结构遥感分类技术可较好实现人工林与天然林植被覆盖信息的准确提取,基于目视解译结果,可确定试验区的天然林与人工林真实面积分别为59772m<sup>2</sup>、55920m<sup>2</sup>。对比传统的规则集分类方法、监督分类方法、非监督分类方法、目视解译方法可以发现,人工林与天然林植被覆盖信息无法通过基于纯光谱的监督、非监督分类方法实现有效区分,建立规则集的分类方法(利用斑块周长)可取得73.68%的分类总体精度,而本文研究的森林内部结构遥感分类技术,则拥有81.00%的天然林分类精度与90.84%的人工林分类精度,较高的分类精度可直观证明该技术的实用性。

### 四、结论

综上所述,宏观生态环境遥感监测技术的应用需关注多方面因素影响。在此基础上,本文涉及的土地利用自动分类技术、植被类型高光谱分类技术、森林内部结构遥感分类技术及应用探讨,则直观展示了宏观生态环境遥感监测技术的原理及应用路径。为更好满足宏观生态环境遥感监测需要,Pansharpening融合、面向对象多尺度分割算法等技术的针对性应用必须得到重视。

### 参考文献

[1] 成文连,李嘉成. 遥感技术在生态环境监测与管理中的应用[J]. 资源节约与环保, 2019 (07): 38.  
 [2] 赵少华,刘思含,周春艳,赵焕,付卓,曹飞. 高分五号卫星在轨测试生态环境遥感监测应用[J]. 卫星应用, 2019 (06): 32-37.  
 [3] 赵少华,刘思含,刘芹芹,吴艳婷,吴迪. 中国城镇生态环境遥感监测现状及发展趋势[J]. 生态环境学报, 2019, 28 (06): 1261-1271.  
 [4] 岳辉,刘英,朱蓉. 基于遥感生态指数的神东矿区生态环境变化监测[J]. 水土保持通报, 2019, 39 (02): 101-107+114.