

# 卫星遥感技术在红树林生态监测与研究中的应用进展

翁 强<sup>1,2</sup>, 卢昌义<sup>1</sup>

(1、厦门大学 环境科学与工程系, 福建 厦门 361005; 2、福建工程学院 环境与设备工程系, 福建 福州 350007)

**摘要:** 遥感技术是红树林生态监测中的关键技术。详细介绍了卫星遥感数据在红树林生态监测中的应用, 叙述了人工目视解译、波段组合法、图像分类技术和模式分类等信息识别方法在探测红树林的生态学指标包括面积、分布范围、类内区分和类外区分以及动态变化等的应用和精度对比情况。此外, 阐述了全球定位系统、地理信息系统和遥感技术在红树林生态监测中的综合应用的优势以及红树林遥感技术的发展前景。

**关键词:** 红树林; 遥感; '3S' 技术

中图分类号: TP79; S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-4343(2006)02-0141-07

## The Development of Application of Satellite Remote Sensing in Mangrove Environment search

WENG Qiang<sup>1,2</sup>, LU Chang-yi<sup>1</sup>

(1. Department of Environment Science and Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Department of Environment and Equipment Engineering, Fujian Engineering Institute, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** The remote sense is the key technique for the mangrove zoology monitoring. This article particularly presents the satellite remote-sensing data in the mangrove ecology monitoring. The discussion of the usage and accuracy of some methods including visual interpretation, wave band combination, image classification and model classification in the detection of area, scope, classification of inner and outer mangrove, dynamic change were made. Besides, the synthetical uses of GPS, GIS and RS, and the respective of mangrove remote sensing are recited also.

**Key words:** mangrove; remote sensing; '3S' technology

红树林是以红树植物为主体的常绿乔木或者灌木组成的热带、亚热带潮间带湿地木本植物群落。由于红树林分布于潮间带浅滩, 常规野外调查工作十分困难, 工作量大, 费用高。其次, 红树林林地地势平坦, 用传统的森林资源调查方法难以准确定位和勾绘。航空遥感技术, 虽然可以精确地进行红树林资源测绘, 但也有较高的技术难度, 即在红树林区, 相对定位有一定的困难。因此, 现阶段国内外对红树林的研究大多是采用卫星遥感方法。卫星遥感技术, 具有宏观大面积一次性探测之优点, 而且可以周期性地获取同一地区的遥感资料, 为红树林生态研究及动态变化监测开辟了一条捷径。本文主要总结归纳了红树林生态监测中的卫星遥感技术方法。

### 1 信息源的选择和主要的信息识别方法

#### 1.1 信息源的选择

当前以至将来海岸带和毗邻海域的遥感信息源, 其空间分辨率已达到米级乃至厘米级, 与之相辅的遥感信息主要来自 Landsat 卫星系列、NOAA 卫星系列、MOS-1 和 JERS-1、GMS、"风云-N" 气象卫星、SPOT 卫星、ERS 卫星、SeaWiFS、"中巴资源卫星一号"(CBERS-1CCD) 及 MODIS 卫星等数据。可见光与近红外卫星图像数据, 包括 Landsat TM 和 ETM、SPOT、NOAA-AVHRR 等, 是利用红树林在可见光与近红外波段的反射特性, 采取不同的波段组合进行区分的, 由于空间分辨率比较低, 难以完成红树林内部种类的区分。但是可以区分出红树林林区与非红树林区, 其性价比比较高, 是目前为止红树林遥感监测中应用最多的图像数据, 其中以 TM 数据应用最多<sup>[1]</sup>。对于成图精度要

收稿日期: 2005-11-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(40276036); 教育部博士点专项基金项目(2000038401)

作者简介: 翁强(1977-), 男, 福建莆田人, 助教, 硕士研究生; 卢昌义(1947-), 男, 福建南安人, 教授, 博士生导师。

求更高的研究,如研究区域性红树林自然扩张,或研究红树林群落结构,或评估各种因素胁迫下红树林的生态特性变化等,目前可采用全色波段的高分辨率遥感数据,如 IKONOS 卫星、QuickBird、SPIN-2、OrbView-3 等,它们的全色波段空间分辨率多半达到 1m 左右,极大提高了遥感图像的信息含量。红树林植被高光谱遥感数据,采用相应的高光谱遥感信息处理技术处理后,可用于红树树种精确分类,植被参数估算与分析、遥感图像定标与纠正等领域。近年来,随着各种植被高光谱模型的建立与完善,加上逐步成熟的植被高光谱分析算法,为更准确地探测植被的精细光谱信息,定量反演植被各组分含量及叶面积指数 LAI 等植被结构参数,精确估算植物所吸收的光合有效辐射 APAR,植物的初级生产力 NPP 等指标提供了可能。同时采用两种信息源甚至多种信息源的融合已成为一种必然趋势,多源数据的融合可以提取更丰富、更可靠、更有用的信息,产生比单一信息源更精确、更完全、更可靠的估计和判断。通过“数据融合”可提高影像的空间分解力和清晰度,提高平面测图精度、分类精度与可靠性,增强解译和动态监测能力,减少模糊度,有效提高遥感影像数据的利用率。如 Pasqualini V 等(1999)采用 SPOT-XS 图像和 SIR-C 雷达图像, Ellis E. (1998) 采用 Landsat TM 图像、SPOT-XS 图像和 CASI 图像, Gao J(1998)采用的是 SPOT HV 图像和 Landsat TM 图像。国内此类研究如李春干(2002)采用 Landsat 7 ETM+和 SPOT HRV 为数据源对图像进行融合,黎夏等(2005)采用 Landsat TM 图像和雷达 SAR 图像进行融合。

## 1.2 主要的信息识别方法

### 1.2.1 人工目视解译

研究者可以根据红树林的生长环境和与周围地物明显的几何特征差异进行区分,利用眼睛对数字图像的色调、外观等影像特征进行判读区分,是红树林遥感中经常运用的分类方法。国内在 20 世纪 80 年代初,由国家海洋局第一海洋研究所完成的广西红树林资源的分类,采用的是卫星资料假彩色合成,然后根据卫星影像特征,进行人工目视解译,获取红树林资源信息。这种方法的缺点在于人的干预,处理结果与专家的处理水平有较大的关系。国外 Blasco F 等(2001)在研究孟加拉湾和南中国海沿岸红树林的破坏情况时,采用 TM 图像为信息源,将遥感图像和红树林地的基本结构、外貌参数相结合,提出了一种海岸红树林遥感成

图方法<sup>[2]</sup>。

### 1.2.2 波段组合法

波段组合法在植被遥感中应用十分广泛,效果比较好。它是建立在红树林的物理属性和红树林的光谱特性基础上的,利用不同波段之间的组合来突出光谱特性最明显的区别,包括植被指数、波段比值和主成分分析等方法。

植被指数(Blasco et al.1986; Chaudhury 1990; Jensen et al.1991)包括归一化植被指数 NDVI,正交指数(tassled cap transformation)<sup>[3]</sup>,和其他的一些植被指数<sup>[4]</sup>。Chaudhury<sup>[5]</sup>利用了 Landsat TM 的近红外波段 B5、B7 的比值:  $((B5 - B7)/(B5 + B7))$ , Blasco 等<sup>[6]</sup>从 SPOT XS 的红光和红外波段 2、3,计算了一个归一化指数  $NDVI = ((B3 - B2)/(B3 + B2))$ 。Jensen 等<sup>[7]</sup>把野外调查数据与从 SPOT XS 中获取的四个不同的植被指数建立关联,做出比值图像进行分类。通过 KL 变化,将红树林进行主成分分析,从而使各波段进行正交化处理,而将红树林信息投影到不同主分量坐标轴之上。再直接利用第一主成分坐标轴的分量信息,进行密度分割,可以得到较好的红树林分类,能够反映红树林的生物量和绿度等信息,对应着一定的红树林群落信息。但是,其密度分割人为性相当大。Gray 等利用主成分分析的监督分类对五个波段(B3, B4, B5, B3/B5, B5/B4)数据中任意三个组成的图像进行分析处理,提高了分类精度。

### 1.2.3 图像分类技术

图像分类技术包括监督分类和非监督分类。Tou 和 Gonzalez 采用非监督分类迭代自组织分析法(ISODATA)进行分类,分类速度比较快。监督分类包括最大似然法、最小距离法和平行分类法等。监督分类的类中心不易形成,而红树林群落不容易体现出来,直接利用原始图像进行分类处理,效果不好。在进行监督分类之前,通常先采取光谱分辨率或者空间分辨率的增强技术,例如 Woodline<sup>[8]</sup>在 Landsat TM 图像中应用了一个 3×3 的边缘增强滤波来精确定位不同红树林之间的边界。

### 1.2.4 模式分类方法

随着模糊集理论、神经计算理论、进化计算理论、知识处理理论和稳健统计理论等人工智能理论和技术的发展,出现了基于人工智能结构的数理统计模型,具有很好的发展前景。如腾骏华等(1997)利用 TM 图像数据,通过与 GIS 中 DEM 数据结合,对海南岛清澜港地区的红树林进行了智能分类研究<sup>[9]</sup>。这种分类方法充分考虑到红树林群

落的生态特征(即遥感光谱特征信息)和红树林群落的地域分布信息(GIS信息),较具针对性和专业性。

## 2 卫星遥感技术在红树林生态监测与研究中的应用内容

卫星遥感技术已经广泛地用于海岸带红树林群落的调查和相应的生态学评价(例如 Aschbacher et al. 1995, Dutrieux et al. 1990, Gao 1998, Gang and Agatsiva 1992, Green et al. 1998, Jensen et al. 1991, Long and Skewes 1994, Pasqualini et al. 1999, Ramirez-Garcia et al. 1998, Ranganath et al. 1989, Rasolofoharino et al. 1998)<sup>[10-20]</sup>。这些研究主要基于 NOAA-AVHRR 图像、SPOT 图像或 Landsat 图像,应用目视解译,波段比值,植被指数、图象分类等信息提取方法,探测具有特征纹理的红树林边界,分析红树林群落的变化。这些研究内容大致可以分为两类:红树林分布范围和面积的调查及动态监测;红树林类内和类外的区分。

### 2.1 红树林分布范围和面积的调查及动态监测

红树林宏观调查的遥感探测主要是研究大洲或者国家水平上的红树林变化趋势,或者是土地覆盖变化趋势,以宏观保护和管理为目的。在地区水平上,要求精度较高,一般包括两项内容:一是红树林分布边界线的准确定位;二是红树林的分类。海水与红树林群落之间的光谱反差通常很明显,因此,遥感图象中很容易区分红树林群落与水体的边界。除了光谱的性质,红树林群落的分布,呈现出由海洋向陆地层状分布的特性,其特殊的群落结构也能帮助用遥感数据将红树林群落与其他覆盖类型的周边陆地区区分开来。Rogers D J 等(1997)在利用 NOAA-AVHRR 多光谱数据编制尼日利亚大面积土地覆盖图时,首先通过 NOAA-AVHRR 测定一系列的植物指数和地表温度,然后采用经过修正的判别分析进行监督分类。在判别分析中,预测变量从原始波段的 AVHRR 数据、AVHRR 产品和数字高程模型(DEM)的中值、最大值、最小值的标准差中选取。其结果是 8 种主要植物类型的土地覆盖的估测精度为 48%-100%,其中红树林的估测精度高达 100%<sup>[21]</sup>。90 年代初,国家海洋局第三海洋研究所,利用 GPS、航空遥感、卫星遥感和 GIS 相结合等技术,完成了对海南岛红树林资源的探测,尤其在海南岛清澜港地区的实验,使用航空遥感、卫星遥感和 GIS 进行综合性的红树林资源绘测,取得很好的效果。该所利用遥感图像的

计算机处理方法,利用常规的数字图像处理与地面调查相结合的方法,将红树林遥感测绘技术带入到量化分析轨道上来,在红树林资源面积分布的测绘上,达到了很高的精度。尽管目前对于从遥感数据分析得到的红树林面积是否准确尚存在争议<sup>[22]</sup>,但是利用多时相的遥感数据能够快速得到红树林分布的变化情况已成共识。

红树林分布与生长状况受多种因素影响,如气温、洋流、波浪、岸坡、盐度、潮汐、底质等,加上人为砍伐、开垦农田、虾池等各种因素,红树林面积和分布会呈现出比较大的变化。Hens L 等(2000)采用 Landsat TM 图像数据分析了越南东北部 Quang Ninh 省 HA Long 市 1988-1998 年间土地覆盖的变化<sup>[23]</sup>,监测到红树林面积的变化状况。Amani Ngusaru 等(2003)以 1988-1990 的 Landsat TM 图像数据和 2000 年 Landsat-7 ETM+图像数据对坦桑尼亚国从北部、中部到南部 800 多公里海岸红树林在 1990-2000 十年间的分布变化及海岸带地物特征遥感分类作了研究<sup>[24]</sup>。

李天宏等以 1989、1992、1994、1996、1998 和 2000 年的 Landsat TM/ETM 图像数据,以相关性最小的 TM4、5、3 波段为假彩色合成的输入波段,半定量地分析出历年的红树林变化状况,然后采用多时相信息的字节编码方法来表达时相之间的红树林空间消长变化,一个字节(BYTE)有 8 位(bit),指定低比特位到高比特位依次代表 2000 年到 1989 年的红树林分布,在 ENVI 软件处理系统中,通过波段之间的数学运算功能,进行多时相红树林变化二进制编码<sup>[25]</sup>。通过对变化图像进行直方图统计,则可以快速得到红树林空间变化的编码数值,再对编码进行二进制解读即可准确得到具体年份的数量变化的状况。王树功、黎夏等采用专家分类器(Expert Classifier)对 1988、1995、2002 年的 Landsat TM 图像分类提取红树林信息,选用 TM2、TM5、TM7 和 NDVI 作为专家分类器的基本条件参数,对经过几何纠正和直方图匹配后的三个时相的 TM 图像,求其归一化植被指数图<sup>[26]</sup>。在三个时相的遥感图像中,水体在 TM5、TM7 波段的 DN 值(遥感图像的灰度值)基本都是 0,所以以 0 作为判别水体和陆地的区别。不同植被在 TM2 中的 DN 值不同,根据野外采样的红树林样地,训练红树林位于 TM2 的值区间为[41, 47]。由于研究区域珠江口淇澳岛上植被覆盖率高,山体上的植被的光谱信息难区分。为此,依据红树林一般位于潮间带地区、海拔低的生长特性,应用珠江口地区 1 250 000

的 DEM 数据,屏蔽掉海拔超过 10m 的地区,以除去山体的混合信息。

## 2.2 红树林类内和类外的区分

要对红树林生态系统进行研究和系统的管理,除了必须准确摸清其分布和面积之外,还要清楚红树林群落的植物组成和结构,需要获取红树林的覆盖度、叶面积指数、廊道指数、破碎化指数、斑块密度、生物量等生态学指标。对红树林群落的遥感分类研究 (Aschbacher 等, 1995; Dutrieux 等, 1990) 还不是很多,特别是对红树林类内的区分,这与红树林群落间光谱特征的近似性和数据本身光谱信息的限制,给分类信息提取带来的困难有关。

红树林与非红树林之间的区分是红树林的研究调查中的重要部分,可以利用很多遥感数据进行红树林与非红树林之间的分类,但是分类精度的差异很大。研究表明,在红树林分类方面 Landsat TM 比 SPOT-XS 好。Ellis E. 以 Landsat TM, SPOT-XS 和 CASI 数据为信息源,采用不同的方法进行处理<sup>[27]</sup>。结果表明,所有 SPOT-XS 分类都不能满足红树林和非红树林植物的区别,所有方法的 CASI 数据的分类精度均高于 Landsat TM,且能区分更多的红树林类型。利用 SPOT XS 数据进行分类的精度范围介于 35%~57%之间,并且没有明显的值差异,值介于 0.03~0.13 之间,所以 SPOT XS 图像数据不能区分出红树林与非红树林种类。利用 Landsat TM 图像数据则可以进行红树林与非红树林种类的区分,实验证明人工目视判读和 NDVI 两类分类方法的精度最低,分别达到 42%和 57%。而监督分类、非监督分类和波段比值处理方法得到的精度可以达到 70%以上。其中,利用 Landsat TM 图像数据进行主成分分析和波段比值技术分类是最精确的,达到了 92%。将 Landsat TM 和 SPOT-XS 数据融合可以改善图像的目视解译,但并不保证不同红树林种类的辨别。在红树林分布的边缘地区,由于红树林面积较小,且零星分布,因此,遥感成图较为困难,成图精度也相应降低。Gao J(1998)采用 3 波段 SPOT 多光谱图像人工分层,通过 ERDAS 图像处理软件编制新西兰奥克兰 Waitemata 港的红树林图。在红树林一个层次分类方案上,制图精度达到 76%。若以密度、繁茂程度为基础分两类制图,全部红树林的制图精度(76%)比零星分布的红树林制图精度(63.3%)更为精确,其主要原因是后者与城市住宅严重混淆,分类后两类红树林合并的结果达到了 81.4%<sup>[12]</sup>。李春

干等(2003)对广西红树林的数量分布的研究结果表明,对于斑块面积较小、分布零星的红树林资源调查,采用 Landsat 7 ETM+和 SPOT HRV 为数据源对图像进行融合具有良好的效果,根据色彩和位置布局两个特征即可容易地进行红树林的目视判读<sup>[28]</sup>。

红树林本身具有很多类型,各自具有不同的几何外观和光谱特征,不同红树植物光谱具有高度形状相似性的同时又表现出同一红树植物不同个体间相对而言明显的变异。除了时间动态性外,红树植被的光谱还具有高空间动态性,而且两者互相联系。空间的动态性还表现在多角度效应上。另外,像元尺度效应的影响非常大。准确进行分类可以探测到红树林生态系统的组成结构,可以监测红树林生态系统的年龄和发展演化状况。GREEN 等<sup>[29]</sup>利用 Landsat TM 图像数据和 CASI 数据相结合对 Turks 和 Caicos 岛的九种红树林进行分类,结果表明,利用 Landsat TM 图像数据进行种类之间的分类精度只达到了 31%,利用 CASI 图像数据可以比较精确的区分出红树林的九个种类。而利用主成分分析和波段比值技术分类可以提高精度(对 CASI 数据,整体精度可以达到 85%)。国家海洋信息中心李四海等(2003)利用资源卫星信息提取技术,选择广西合浦红树林区作为应用研究区,以中巴资源卫星(CBERS-1 CCD)数据,采用神经网络分类法进行分类的总体精度是 73.36%<sup>[30]</sup>。Gao 对 Waitemata 海港,奥克兰,新西兰西部的红树林面积、分布状况采取了空间分辨率为 30m 的 Landsat TM 图像、20m 的 SPOT XS 图像和 10m 的 PAN+XS 图像数据,对研究区域各种土地类型抽取样本,然后经过最大似然法的监督分类方法,发现空间分辨率为 30m 的 Landsat TM 图像的精度最高,对于红树林分布密集区和稀疏区的精度分别达到 95%和 87.5%。如果不考虑红树林密集区和稀疏区的区分,整体精度可以达到 97.5%,目标精度可以达到 96.3%。与之相应的 20m 分辨率的 SPOT XS 结果的精度较低,分别只有 77.5%和 67.5%。在 10m 分辨率的水平上,将 PAN 波段融合于分类图后,两种精度都能提高到 80%。并由此得出了如下结论:在一个适当的范围内,在精确的红树林制图中,一个高光谱解决方案比一个高空间分辨率解决方案更为重要,因为其提高了非红树林的解译能力,并由此增加了其与红树林的混淆<sup>[12]</sup>。Le Wang 等(2004)选择 IKONOS 和 QuickBird 的高光谱遥感数据,采用最大似然法(MLC)的监督

分类方法, 灰度共生矩阵 (GLCM) 的纹理特征方法, 高空间分辨率影像的基于对象分类方法对黑红树 (*Avicennia germinans*)、白红树 (*Laguncularia racemosa*) 与红红树 (*Rhizophora mangle*) 进行图像分类与识别, 并比较了两种数据源的分类效果。结果表明, 对于其研究地区, 光谱信息比空间信息在区分红树种类时作用更重要; IKONOS 遥感图像分类结果比 QuickBird 的要稍好; 融合全色波段后的分类结果与多光谱的分类效果相比没有显著的提高; 两种高光谱数据适合于精确的红树林种类分类制图<sup>[31]</sup>。

### 2.3 其他

遥感技术也用于红树群落的管理 (例如, Gao 1998, Green et al. 1998, Rasdoloharino et al. 1998, Ramirez-Garcia et al. 1998, Pasqualini et al. 1999)。当红树林受到病虫害的侵蚀时, 光谱特征发生显著改变, 病变的红树林无论在绿、红和近红外的光谱段内反射比均有变化, 其中尤以在近红外光谱段内变化最大, 其次在红光光谱段的变化也十分明显。因此, 利用 NOAA 卫星数据的红光和近红外波段的比值探测红树林生长状况是很有效的。另外通过利用红树遥感图象导出的 NDVI 数据的相关关系可以推导、计算红树的叶面积指数 LAI<sup>[32]</sup>, 净初级生产力 NPP 值的分布等。

最近的研究还表明, 红树林生长带与潮汐水位之间存在相当严格的对应关系, 红树林成为对海平面变化最敏感的生态系统之一<sup>[33]</sup>。由于植物叶片的色素能够强烈并且选择性地吸收光能, 如果植被的正常生长及其生产力受到胁迫和影响, 它将减少或停止植物色素的产生, 导致植被光谱响应的变化 (Lillesand 和 Kiefer, 1994)<sup>[34]</sup>。这样, 处于因海平面上升所引起的水渍和盐渍胁迫的红树群落的光谱, 与受影响少些的正常红树群落的光谱有一定的差别, 可以通过遥感探测红树群落的这种结构变化分析海平面的影响。环境胁迫下的红树群落生理变化, 将影响红树群落的光合作用能力, 并表现在其净初级生产力 (NPP) 的变化上。在最近的全球变化研究中, 进行了关于 NPP 和卫星图象归一化植被指数 (NDVI) 在植被活动之间联系的一系列调查研究 (例如 Fang 等, 2001, 周等, 2001)<sup>[35-36]</sup>。这些宏观尺度的研究使用了美国 NOAA 卫星的 AVHRR 图象。红树群落的研究属于中等尺度, 类似的 NPP-NDVI 联系规律需要从较高空间分辨率和较高光谱分辨率的 Landsat 或

SPOT 图象中导出。

### 3 GIS、GPS 和 RS 3S 技术的综合运用

GIS 是具有采集、管理空间信息和进行区域空间分析, 多要素综合分析和空间要素动态变化预测, 进而产生高层次的决策信息的有效工具。GIS 信息反映了红树林群落的地域分布信息。RS 是重要的直接信息源和动态监测手段, RS 信息是红树植物及群落生态特征即遥感光谱特征信息的反映, GPS 在红树林遥感应用中主要是在训练样地野外调查中用于定位, 记录样区的坐标, 或是用于遥感图象几何精校正控制点的采集工作。李春干 (2002) 以 Landsat 7 ETM+ 和 SPOT HRV 为信息源, 经预处理后在 GIS 支持下进行目视判读和编制工作手图, 实地采用 GPS 实测和目测勾绘修正小班界线, 进入林内调查林况因子。经过“3S”技术调查的小斑周界平均位移为 18.3m, 平均位移小于 30m 的小斑数占小斑总数的 95.1%。而常规方法调查的小斑周界平均位移为 108.7m, 平均位移大于 100m 的小斑数占全体小斑数目的 65.0%。然后对比了利用“GIS”和“3S”技术的调查精度, 结果表明小斑面积的精度后者是前者的 2.53 倍, 边长的精度后者比前者高 2.04 倍, 有效地解决了传统方法调查中存在的红树林空间位置和分布境界线定位准确性差、面积精度低和 GPS 方法效率低等问题<sup>[37]</sup>。

GIS、GPS 和 RS 技术的综合运用提供了红树群落空间动态过程分析和红树植物生理研究的新途径, 可以填补认识红树群落演变及其环境胁迫在时空属性研究方面的空白。利用不同时期的遥感数据进行有目的的影像增强和分类, 从而获得定量初级生产力分布、红树林覆盖面积等数据及其空间信息的历史变化情况, 以此获取地面生态资源的分布变化, 分析其与某些自然因素的相关关系。应用地理信息系统 (GIS), 支持相关数据集的大规模分析, 分析红树群落的环境变化响应, 模拟和调查相关的环境变化、景观和土地使用, 判定、评价、预测研究区的红树植物影响状况, 将包括遥感影像、地面覆盖类型图、景观和环境的所有数据集, 集成进新创造 GIS 数据层, 进行基于 GIS 的数据同化和空间的分析, 实现研究区域的多源数据快速提取以及研究区域影像数据的快速处理。2005 年 5 月 18 日, 国家海洋局批准发布了《红树林生态监测技术规程》<sup>[38]</sup>, 肯定了“3S”技术在红树

林生态监测中的重要作用。

#### 4 卫星遥感技术的发展趋势

伴随着遥感和计算机软硬件技术的发展和遥感理论研究的不断深化,出于有效地充分利用高光谱卫星遥感数据进行植被定量对地观测的需要,除发展和建立各种有效的图象处理技术和相关的植被光谱分析算法外,发展高光谱和多角度遥感是适合于对某一植被类型进行小尺度定点研究的地面遥感今后发展的必然趋势,从而深化将地面与卫星图象资料相结合进行植被覆盖的监测等方面的应用研究,为遥感的进一步定量化奠定基础。

随着遥感技术的发展及光学、热红外和微波等大量不同卫星传感器对地观测的应用,获取的同一地区的多种遥感影像数据(多时相、多光谱、多传感器、多平台和多分辨率)越来越多,多源遥感影像数据融合在今后遥感动态监测全球植被资源中将发挥越来越大的作用。此外,遥感信息定量化是当前的重点研究方向。遥感信息定量化,将使不同种类光学遥感数据的信息复合技术发生质的飞跃,使复合后的信息不仅达到空间分辨率的归一化,而且其辐射值仍保持着目标结构和成分的物理信息。将遥感信息定量化,实现全球海量观测数据的定量管理、分析和预测、模拟是当前重要的发展方向之一。遥感信息定量化使高光谱遥感信息的定量分析与应用成为现实。

现在的遥感系统,主要还是单台遥感器为主,仍没有“定性”、“定位”一体化的组合遥感器。超多波段、超光谱分辨率的成像光谱仪在目标识别方面具有更强的能力,但目标图象的“定位”问题却留给信息处理阶段。随着高光谱遥感应用的不断深入,在“动态监测”越来越成为人们共识的情况下,利用高光谱成像仪目标识别能力很强的同时,发展快速实现图象的同步“定位”,赋予三维坐标,形成“定性”、“定位”一体化快速遥感技术就成为必须考虑的问题。

#### 参考文献:

- [1] 李春干.红树林遥感成图研究综述[J].中南林业调查规划,2002,21(4):52- 58.
- [2] BLASCO F,AIZPURU M, GERS C. Depletion of the mangroves of continental Asia [J]. *Etlands Ecology and Management*, 2001, 9(3):255- 266.
- [3] CRIST E. A physically based transformation of thematic mapper data: the TM Tassled Cap [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1984, 22:256- 263.
- [4] LOGAN T L. Proceedings on the symposium on machine processing of remote sensing of remoted sensed data [J]. *Optional Land sat transforms for forest applications*, 1983, 5:146- 153.
- [5] CHAUDHURY M U. Digital analysis of remote sensing data for monitoring the ecological status of the mangrove forests of Sunderbans in Bangladesh [A]. *Proceeding of the 23rd International Symposium on Remote Sensing of the Environment* [C], Bangkok: ICRSE, 1990:493- 497.
- [6] BLASCO F, LAVENU F, BARAZA J. Remote sensing data applied to mangroves of Kenya coast [A]. *Proceedings of the 20th International Symposium on Remote Sensing of the Environment*[C]. Nairobi: ICRSE, 1986:1465- 1480.
- [7] JENSEN J R, RAMSET E, DAVIS B A, et al. The measurement of mangrove characteristics in south - west Florida using SPOT multi - spectral data [J]. *Geocartography International*, 1991, 2: 13- 21.
- [8] WOODFINE A C. North east Sumatra prawn project, remote sensing component [R]. New York: Final Report to Natural Resoures Institute/Overseas Development Agency, 1991: 121- 123.
- [9] 腾骏华, 刘宇, 顾德宇.红树林智能遥感分类方法研究[J].台湾海峡,1997,16(3):331- 338.
- [10] ASCHBACHER J, OFREN R S, DELSOL J P,et al. An integrated comparative approach to mangrove vegetation mapping using remote sensing and GIS technologies, preliminary results [J]. *Hydrologia*, 1995, 295:285- 294.
- [11] DUTRIEUX E, DENIS J, POPULUS J. Application of SPOT data to a base-line ecological study the Mahakam Delta mangroves East Kalimantan, Indonesia [J]. *Oceanologica Acta*,1990, 13:317- 326.
- [12] GAO J. A hybrid method toward accurate mapping of mangroves in a marginal habitat from SPOT multispectral data[J]. *Int J of Remote Sensing*,1998,19(10): 187- 189.
- [13] GANG P O, AGATSIVA J L. The current status of mangroves along the Kenyan coast, a case study of Mida Creek mangroves based on remote sensing [J]. *Hydrobiologia*, 1992 , 247:29- 36.
- [14] GREEN E P,MUMBY P J, EDWARDS A J, et al. The assessment of mangrove areas using high resolution multispectral airborne imagery [J]. *Journal of Coastal Research*, 1998, 14(2):433- 443.
- [15] JENSEN J R, RAMSET E, DAVIS B A, et al. The measurement of mangrove characteristics in south - west Florida using SPOT multispectral data [J]. *Geocarto International*, 1991, 2:3- 21.
- [16] LONG B G, SKEWES T D. GIS and remote sensing improves mangrove mapping [A]. *Proceedings of the 7th*

- Australasian Remote Sensing Conference[C]. Melbourne: ARSC,1994:545- 550.
- [17] PASQUALINI V, ILTIS J, DESSAY N,et al. Mangrove mapping in North- Western Madagascar using SPOT- XS and SIR- C radar data[J]. *Hydrobiologia*,1999, 413:127- 133.
- [18] RAMIREZ- GARCIA P, LOPEZ- BLANCO J, OCANA D. Mangrove vegetation assessment in the Santiago River mouth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery [J].*Forest Ecology and Management*,1998 ,105: 217- 229.
- [19] RANGANATH B K, DUTTC B S, MANIKAN B. Digital mapping of mangrove in middle Andamans of India[A]. *Proceedings of the 6th Symposium on Coastal and Ocean Management [C]*. New York: American Society of Civil Engineers, 1989: 741- 750.
- [20] RASOLOFOHARINORO M, BLASCO F, BELLAN M F,et al. A remote sensing based methodology for mangrove studies in Madagascar [J]. *Int J of Remote Sensing*, 1998,19(10): 1873- 1886.
- [21] ROGERS D J,HAY S I,PACKER M,et al. Mapping land- cover over large areas using multispectral data derived from the NOAA- AVHRR: a case study of Nigeria[J]. *Int J of Remote Sensing*, 1997,18(15): 3297- 3303.
- [22] 张乔民,隋淑珍.中国红树林湿地资源及其保护[J].*自然资源学报*,2001,16 (1) : 28- 36.
- [23] HENS L, IERYNCK E, VAN Y T, et al. Land cover changes in the extended HA Long City area, North Eastern Vietnam during the period 1988 -1998 [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2000, 2 (3/4): 235- 252.
- [24] YEQIAO WANG, AMANI NGUSARU, VEDAST MAKOTA, et al. Remote sensing of mangrove change along the Tanzania coast[J]. *Marine and Geodesy*, 2003, 26:35- 48.
- [25] 李天宏, 赵智杰, 韩鹏. 深圳河口红树林变化的多时相遥感分析[J].*遥感学报*, 2002,6(5): 364- 369.
- [26] 王树功,黎夏,周永章,等.珠江口淇澳岛红树林湿地变化及调控对策研究[J]. *湿地科学*,2005,3 (1):13- 20.
- [27] ELLIS E. Remote sensing techniques for mangrove mapping [J]. *Int J of Remote Sensing*, 1998 ,413 (1): 935- 956.
- [28] 李春干,谭必增.红树林资源调查的遥感图象处理方法研究[J].*中南林业调查规划*,2003,22(2):24- 27.
- [29] GREEN E P, CLEAR C D, MUM B Y, et al. Remote sensing techniques for mangrove mapping [J]. *Int J of Remote Sensing*, 1998, 19(5): 935- 956.
- [30] 李四海,王华,蒋兴伟.中巴资源卫星在红树林遥感调查中的应用研究[J].*海洋通报*,2003, 22(6):30- 35.
- [31] LE WANG, WAYNE P. SOUSA, PENG GOGN, et al. Comparision of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91: 432- 440.
- [32] EDUMUND P, GREEN, PETER J, et al. Estimating leaf area index of mangroves from satellite data [J]. *Aquatic Botany*, 1997, 58:11- 19.
- [33] 谭晓林,张乔民.红树林潮滩沉积速率及海平面上升对我国红树林的影响[J].*海洋通报*,1997,16(4):29- 35.
- [34] LILLESAND T M, KEFER R W. Remote sensing and image interpretation [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1994:143- 149.
- [35] FANG J, PIAO S, TANG Z,et al. Interannual Variability in Net Primary Production and Precipitation [J]. *Science*, 2001, 293:56- 62.
- [36] ZHOU L, TUCEKER C J, KAUFMANN R K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999[J]. *Journal of Geographical Research*, 2001,106 (17): 20,069 - 20,083.
- [37] 李春干,谭必增.基于“3S”的红树林资源调查方法研究[J]. *自然资源学报*,2003,18 (2):215- 221.
- [38] HY/T 081- 2005,红树林生态监测技术规程[S].

(责任编辑: 叶 普)