文章编号: 1674-7070(2011) 04-0341-05

基于知识与规则的红树林遥感信息提取

张雪红[1]

摘要

针对难以将红树林同陆地植被,尤其是同水体与陆地植被混合像元有效识别的现象,结合 TM 影像提取了能有效反映红树林湿地特征的绿度指数和湿度指数,同其他常用的 NDVI、TM3/TM5、TM5/TM4 等指数相比: 绿度指数和湿度指数更能有效地提高红树林同陆地植被,尤其是同水体与植被混合像元的可分性. 采用知识与规则方法提取红树林遥感信息,与其他学者常采用的分类特征及分类方法相比,识别精度有明显提高,Kappa 系数提高 0. 10,错分率降低 16. 1 个百分点.

关键词

红树林; 绿度; 湿度; 知识与规则; K-T 变换

中图分类号 TP751. 1; TP753

文献标志码 A

0 引言

红树林是生长在热带、亚热带沿海潮间带滩涂上特有的木本植物群落,属常绿阔叶林,主要分布于淤泥深厚的海湾或河口盐渍土壤上. 红树林的特殊生长环境不利于大面积地野外实地调查,往往需借助遥感技术来快速大面积地监测和调查. 关于红树林的遥感识别与监测,已有的研究关注的重点主要包括 2 个方面: 一是红树林分布面积的调查及其动态监测,它侧重于从宏观尺度上监测红树林分布范围及动态变化,此类研究多采用 Landsat/MSS [1-2]、Landsat/TM(ETM +) [2-9]、SPOT [7,10-12] 和 ASTER [13] 等中分辨率影像数据; 另外一类关注的重点是红树林种类识别及群落分布规律,以及生物量、叶面积指数等生物物理参数,它主要研究微观尺度中红树林生态群落分布及演变规律研究,此类研究多采用航空影像(如 CASI 影像[8]、Hypmap 影像[14]) 、IKONOS [15-17]、QuickBird [15,18] 等高空间分辨率或高光谱影像数据. 在红树林识别研究中,主要采用 NDVI [19-20]、TM3/TM5 [8]、(TM5-TM7) /(TM5 + TM7) [3] 和 TM5/TM4 [8] 等植被指数或波段组合来区分红树林与非红树林,还有部分研究结合 DEM、海岸线等辅助地学数据,以提高红树林识别精度 [21-22].

在以往的红树林研究中,由于受到影像数据性能的限制,分类精度不高. 如 SPOT1/2/3 影像,虽然它的空间分辨率高于 TM 影像,但由于前者缺少能将红树林和陆地植被进行有效区分的短波红外波段,从而使基于 SPOT1/2/3 影像的红树林识别精度明显低于 TM 影像[8],而采用全色波段融合后的 SPOT1/2/3 影像虽然能提高识别精度,但仍然低于 TM 影像[23]. 和 SPOT1/2/3 影像相比,TM 影像增加的短波红外波段虽然能有效提高红树林的识别精度,但红树林同水体与植被的混合像元反射光谱的高度相似性导致红树林的识别精度仍然无法进一步提高.

红树林作为特殊的植被类型,其滨海湿地环境使红树林遥感信息不仅具有植被特征,同时又具有水体的特征. 因此,本文尝试从红树林特殊的生境出发,通过 K-T 变换提取能有效反映红树林湿地系统特点的湿度指数和绿度指数,并基于知识规则方法提取红树林遥感信息,从而有效提高红树林同陆地植被、水体与陆地植被混合像元的可分性及红树林的识别精度.

收稿日期 2011-01-10
资助项目 国家自然科学基金(40971186)
作者简介
张雪红,男,博士,讲师,主要从事植被遥感、高光谱遥感研究. zxhbnu@ nuist. edu. cn

1 南京信息工程大学 遥感学院,南京,210044

1 研究区及数据来源

1.1 研究区概况

研究区位于广西防城港市的北仑河口国家级自然保护区，地理坐标为 108°2′～108°16′E，21°28′～21°37′N. 它是一个以红树林生态系统为保护对象的自然保护区. 保护区南濒北部湾，西端与越南交界，自西向东跨越北仑河口、万尾岛和珍珠岛，海岸线全长 105 km，有河口海岸、开阔海岸等地貌类型，属南亚热带海洋性季风气候区.

1.2 数据来源

本文的数据包括 Landsat5/TM 影像数据和红树林样点的野外调查数据. TM 影像通过中国科学院计算机网络信息中心的国际科学数据镜像网站(http://datamirror.csdb.cn/)下载获得，成像时间为 2006 年 9 月 12 日，轨道号为 P125/R45.

2 处理方法

2.1 数据预处理

数据预处理包括 TM 影像的辐射校正和几何校正. 本文对 TM 影像进行了辐射定标和大气校正，Landsat5 的辐射定标系数采用了 Chander 等[24]的结果，大气校正通过 6S 程序来完成[25]，辐射校正后获得地表各像元的反射率. 几何校正通过野外试验时记录的地面控制点(包括大型桥梁与河流的交叉、道路交叉口等)来完成，配准误差小于 0.5 个像元. TM 中的热红外波段均重采样为 30 m，所有的影像均采用 UTM 投影.

2.2 分类方法

由于红树林的特殊滨海湿地环境，使红树林像元同时具有植被和水体的特征. 因此本文基于知识规则，采用知识规则分类方法来提取红树林遥感信息，将研究区域分为红树林和非红树林 2 类，并基于 ENVI 软件中决策树分类模块进行红树林的识别. 为了与其他常规的红树林遥感识别方法进行对比分析，本文还采用已有红树林识别研究常用的分类特征(NDVI[19-20]、TM3/TM5[8]和 TM5/TM4[8]等)及分类方法(最大似然分类法)对红树林进行识别.

2.3 分类特征的提取与选择

分类特征的选择和提取是地物识别和分类的关键，本文采用归一化均值距离[26]来选择和评价分类特征. 归一化均值距离通过 2 个类别的均值距离和标准差来定量评价它们的可分性，距离越大，可分性越好，同时也表明该分类特征较好. 其公式为

$$d = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma_1 + \sigma_2}, \quad (1)$$

其中 d 为归一化均值距离，μ_1、μ_2 分别为某分类特征的 2 类样本区域的均值，σ_1、σ_2 分别为分类特征的 2 类样本区域的标准差.

3 结果与分析

3.1 典型地物光谱特征分析

图 1 为研究区内红树林、陆地植被、人工设施、水体等典型地物反射光谱均值曲线. 其中植被与非植被之间的光谱差异较大，比如在短波红外的 TM5 和 TM7 可以很容易将人工设施、水体等非植被与植被区分. 在不同植被类型之间的光谱极其相似，存在较大的光谱重叠区域，但是红树林和陆地植被之间还是有一定的光谱差异. 从光谱带的重叠来看，红树林光谱在可见光和近红外波段与其他植被类型存在严重的重叠，而短波红外对像元中水分含量的高度敏感性使得它们之间无明显重叠. 因此，短波红外波段是红树林与陆地植被区分的有效波段.

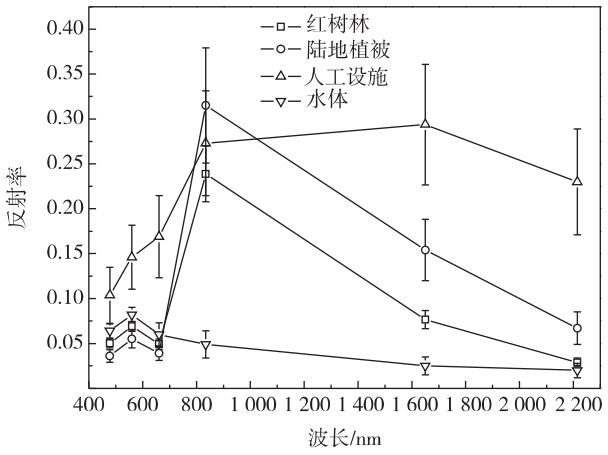


图 1 研究区典型地物反射光谱均值曲线

Fig. 1 Spectral reflectance curves of typical objects in study area

进一步考察水体与陆地植被的混合像元的反射光谱特征，发现它同红树林的极其相似，尤其在短波红外区域几乎重叠(图 2). 因此，水体(包括沿海养殖水体、河流、水库、池塘)与陆地植被的混合像元是造成红树林识别精度难以提高的主要原因.

3.2 分类特征选择

为了将红树林同非红树林进行有效区分，本文充分利用红树林的滨海湿地生态系统同时具有水体

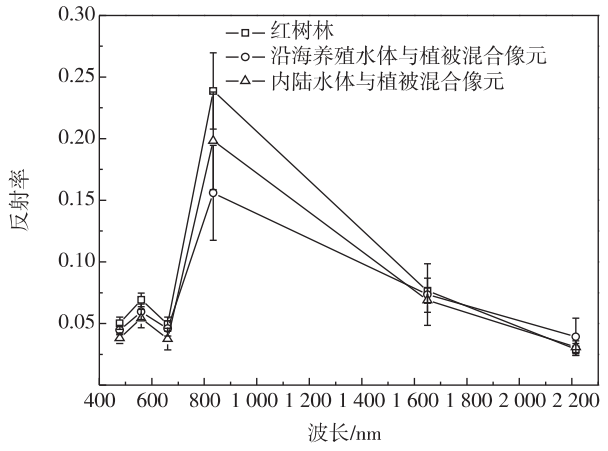


图2 水体与植被混合像元、红树林反射光谱曲线

Fig. 2 Spectrum curves of water-vegetation mixed pixel and mangrove

和植被特征的特点,而基于K-T变换[27]提取的湿度指数和绿度指数刚好能反映红树林以上生境特点,因此本文采用湿度指数和绿度指数作为分类特征.为了验证其提取红树林信息的有效性,通过目视判读分别对红树林、陆地植被、人工设施、水体、水体与陆地植被混合像元等典型地物随机取样,并同其他学者常采用的分类特征(如NDVI、TM3/TM5、TM5/TM4)进行了对比分析.

利用归一化均值距离对以上分类特征进行可分性分析.表1为红树林与其他地物之间的可分性分析结果,发现在红树林同陆地植被的区分中,湿度可分性最高(为2.29),TM3/TM5略低(为2.27),但前者在同人工设施、水体的可分性明显高于后者,因此湿度指数入选为本文的分类特征之一.绿度指数能明显提高红树林同水体与植被混合像元的可分性,其原因为红树林呈现生长较为集中的特性,因此其绿度会明显高于水体与植被混合像元.所以,本文基于红树林的特殊生长环境特点,最终选择湿度指数和绿度指数,并采用知识规则方法进行红树林的遥感识别.

表1 红树林与其他地物的可分性分析

Table 1 The separability between mangrove and other objects

水体与植被	湿度指数	绿度指数	NDVI	TM3/TM5	TM5/TM4
陆地植被	2.29	0.93	0.92	2.27	1.62
混合像元	0.47	1.93	1.28	0.67	0.91
人工设施	3.26	2.14	2.90	0.03	4.91
水体	3.18	4.52	4.39	1.56	0.70

为了和本文提出的红树林识别方法进行对比分析,同时选取其他学者常用的分类特征和分类方法进行红树林的识别,选择的分类特征为TM3、TM4、TM5、TM7、TM3/TM5、TM4/TM5、NDVI,分类方法为监督分类中的最大似然法.

3.3 知识与规则的建立

基于3.2中的分析,最终选择绿度指数和湿度指数参与知识规则法分类.其分类规则如图3所示.主要包括2条知识规则:1) $-0.043 \leqslant$ 湿度指数 $\leqslant 0$;2) 绿度指数 $\geqslant 0.06$.由于红树林像元、水体与陆地植被混合像元均含有植被和水体信息,经试验建立知识规则1)可以将水体、裸土、人工设施、陆地植被同红树林、水体与陆地植被混合像元进行分离;由于红树林丛生的生长特点,于是建立知识规则2)进一步将红树林同水体与陆地植被进行区分.

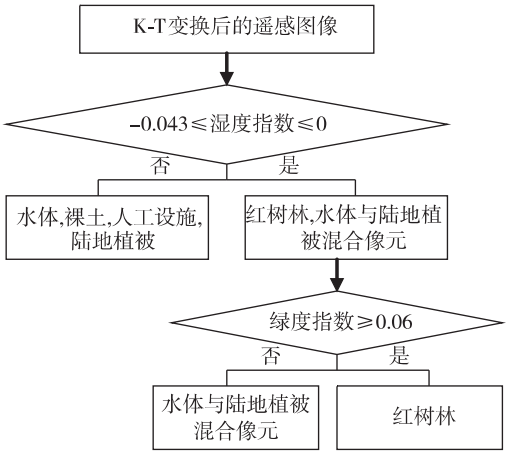


图3 知识与规则

Fig. 3 Knowledge and rules

3.4 红树林识别结果比较分析

以3.3节中建立的知识规则进行分类,红树林的分类结果如图4a.同时用常规的最大似然法进行监督分类,共分为5类,分别为红树林、陆地植被、人工设施、水体、滩涂及泥沼,训练样本分别为220、221、142、162、110个,其中红树林分类结果为图4b.结合红树林的滨海湿地生长特点,采用目视判读的方法从图像上提取了519个红树林样本,4 443个非红树林样本(包括水体、陆地植被、裸土、人工设施、水体与陆地植被混合像元)作为验证样本.2种方法的红树林分类精度评价见表2,采用本文提出的分类方法精度明显高于常规方法.其中Kappa系数提高0.10,错分率降低16.1个百分点,漏分率差异不大.

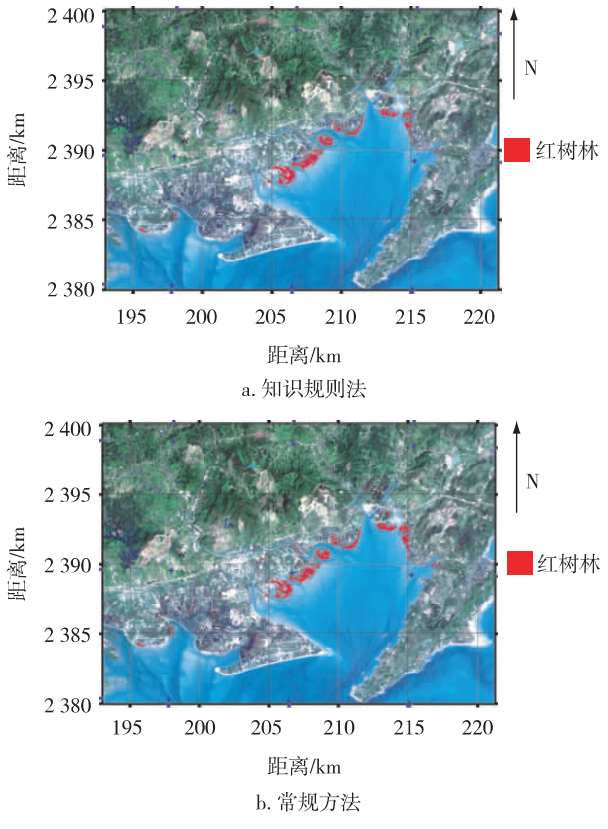


图 4　2006 年广西壮族自治区防城港市北仑河口国家级自然保护区红树林识别结果

Fig. 4　The mangrove map of Beilunhekou National Nature Reserve Area, Fangchenggang City, Guangxi in 2006 using, knowledge and rules method (a) and convetional method (b)

表 2　红树林分类结果评价

Table 2　The accuracy of mangrove classification

	Kappa 系数	错分率	漏分率
K-T 变换法	0. 90	40/503 = 7. 9%	56/519 = 10. 7%
常规方法	0. 80	145/605 = 24. 0%	59/519 = 11. 4%

通过对验证样本及图 4 进行分析发现，2 组的分类精度差异主要体现于红树林同陆地植被、尤其是同水体与陆地植被混合像元的错分方面. 本文基于 K-T 变换提取的湿度和绿度分类特征充分考虑了红树林特殊的生境特点，其中湿度明显提高了红树林同陆地植被的可分性，绿度可以提高红树林同水体与陆地植被混合像元的可分性(表 1) ，从而大幅降低了红树林同陆地植被、水体与陆地植被混合像元的错分率.

4　结论与讨论

针对红树林同陆地植被，尤其是同水体与陆地植被的混合像元存在严重的“同谱异物”现象，为了有效提高红树林的识别精度，本文分析了红树林识别精度难以提高的原因，并基于 TM 反射率波段数据进行 K-T 变换，提取了湿度指数和绿度指数，采用知识规则法来识别红树林，同时和常规的红树林识别方法进行对比分析. 研究结果表明: 湿度指数和绿度指数能有效将红树林同其他非红树林区分开，也能将红树林同大部分水体与陆地植被的混合像元进行区分，其识别精度明显高于常规方法.

致谢　对中国科学院计算机网络信息中心的国际科学数据镜像网站 (http: //datamirror. csdb. cn/) 免费提供研究采用的 TM 影像数据表示衷心的感谢.

参考文献

References

[1] Lorenzo R, Jesus B R, Jara R B. Assessment of mangrove forest deterioration in Zamboanga Peninsula, Philippines, using Landsat MSS data [C] // Proceedings of the 13th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, 1979: 1737-1745

[2] Giri C, Pengra B, Zhu Z, et al. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000 [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 73(1/2) : 91-100

[3] Chaudhury M U. Digital analysis of remote sensing data for monitoring the ecological status of the mangrove forests of Sunderbans in Bangladesh [C] // Proceedings of the 23rd International Symposium on Remote Sensing of the Environment, 1990: 493-497

[4] Vibulsresth S, Downreang D, Ratanasermpong S, et al. Mangrove forest zonation by using high resolution satellite data [C] // Proceedings of the 11th Asian Conference on Remote Sensing, 1990: 1-6

[5] Loo M G K, Lim T M, Chou L M. Land use changes of a recreational island as observed by satellite imagery [C] // Third ASEAN Science and Technology Week Conference Proceedings, 1992: 401-405

[6] Long B G., Skewes T D. GIS and remote sensing improves mangrove mapping [C] // Proceedings of the 7th Australasian Remote Sensing Conference, 1994: 545-550

[7] 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]. Hydrobiologia, 1995, 295(1/2/3) : 285-294

[8] Green E P, Clark C D, Mumby P J, et al. Remote sensing techniques for mangrove mapping [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(5) : 935-956

[9] Andriamparany R, Fromard F. Dynamics of mangrove forests in the Mangoky River delta, Madagascar, under the influence of natural and human factors [J]. Forest Ecology and Management, 2010, 259(6) : 1161-1169

[10] Blasco F, Aizpuru M, Gers C. Depletion of the mangroves

of Continental Asia [J]. Wetlands Ecology and Management,2001,9(3):255-266

[11] Thu P M,Populus J. Status and changes of mangrove forest in Mekong delta: Case study in Tra Vinh,Vietnam [J]. Estuarine Coastal and Shelf Science,2007,71(1/2):98-109

[12] Conchedda G,Durieux L,Mayaux P. An object-based method for mapping and change analysis in mangrove ecosystems [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing,2008,63(5):578-589

[13] Vaiphasa C,Skidmore A K,de Boer W F. A post-classifier for mangrove mapping using ecological data [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing,2006,61(1):1-10

[14] 肖海燕,曾辉,曾启杰,等. 基于高光谱数据和专家决策法提取红树林群落类型信息 [J]. 遥感学报,2007,11(4):531-537
XIAO Haiyan,ZENG Hui,ZAN Qijie,et al. Decision tree model in extraction of mangrove community information using hyperspectral image data [J]. Journal of Remote Sensing,2007,11(4):531-537

[15] Wang L,Sousa W P,Gong P,et al. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama [J]. Remote Sensing of Environment,2004,91(3/4):432-440

[16] Kovacs J M,Wang J F,Flores-Verdugo F. Mapping mangrove leaf area index at the species level using IKONOS and LAI-2000 sensors for the Agua Brava Lagoon,Mexican Pacific [J]. Estuarine,Coastal and Shelf Science,2005,62(1/2):377-384

[17] Proisy C,Couteron P,Fromard F. Predicting and mapping mangrove biomass from canopy grain analysis using Fourier-based textural ordination of IKONOS images [J]. Remote Sensing of Environment,2007,109:379-392

[18] Saleh M A. Assessment of mangrove vegetation on Abu Minqar Island of the Red Sea [J]. Journal of Arid Environments,2007,68(2):331-336

[19] Blasco F,Lavenu F,Baraza J. Remote sensing data applied to mangroves of Kenya coast [C] // Proceedings of the 20th International Symposium on Remote Sensing of the Environment,1986:1465-1480

[20] Jensen J R,Lin H Y,Ramset E,et al. The measurement of mangrove characteristics in south-west Florida using SPOT multispectral data [J]. Geocarto International,1991,6(2):13-21

[21] 刘凯,黎夏,王树功,等. 珠江口近20年红树林湿地的遥感动态监测 [J]. 热带地理,2005,25(2):111-116
LIU Kai,LI Xia,WANG Shugong,et al. Monitoring the changes of mangrove wetland around the Zhujiang estuary in the past two decades by remote sensing [J]. Tropical Geography,2005,25(2):111-116

[22] Liu K,Li X,Shi X,et al. Monitoring mangrove forest changes using remote sensing and GIS with decision-tree learing [J]. Wetlands,2008,28(2):336-346

[23] Gao J. A hybrid method toward accurate mapping of mangroves in a marginal habitat from SPOT multispectral data [J]. International Journal of Remote Sensing,1998,19(10):1887-1899

[24] Chander G,Markham B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges [J]. IEEE Transections on Geoscience and Remote Sensing,2003,41(11):2674-2677

[25] Vetmote E F,Tanré D,Deuzé J L,et al. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum,6S: An overview [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1997,35(3):675-686

[26] Swain P H,Davis S M. Remote sensing: The quantitative approach [M]. New York: McGrowHill Inc,1978

[27] Crist E P,Cicone R C. Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data [J]. Photogrammetry Engineering & Remote Sensing,1984,50:343-352

Remote sensing information extraction of mangrove based on knowledge and rules

ZHANG Xuehong[1]

1 School of Remote Sensing,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

Abstract The classification accuracy of mangrove is always low due to the similarity of spectra between mangrove and land vegetation,especially water-vegetation mixed pixels. Greenness index and wetness index were extracted based on TM imagery,which can effectively reflect the wetland characteristics of mangrove. The greenness index and wetness index can significantly improve the separability between mangrove and water-vegetation mixed pixels by comparison with NDVI,TM3/TM5,TM5/TM4,which always were employed by other researchers. Knowledge and rules method can significantly increase the classification accuracy of mangrove,compared with conventional classification features and method employed by other researchers. And the Kappa coefficient increased 0.10 while commission error of mangrove class decreased 16.1 percent by using decision tree method.

Key words mangrove; greenness; wetness; knowledge and rules; K-T transformation