doi: 10.6046/gtzyyg.2016.03.14

引用格式: 柴颖,阮仁宗,柴国武,等. 基于光谱特征的湿地植物种类识别[J]. 国土资源遥感,2016,28(3):86-90. (Chai Y, Ruan R Z, Chai G W, et al. Species identification of wetland vegetation based on spectral characteristics [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2016, 28(3):86-90.)

基于光谱特征的湿地植物种类识别

柴颖',阮仁宗',柴国武2,傅巧妮'

(1. 河海大学地球科学与工程学院,南京 210098; 2. 河南省南阳水文水资源勘测局,南阳 474500)

摘要:光谱特征的选择对于湿地植被的识别精度和效率有直接的影响作用。以美国舍曼(Sherman)岛水域为研究 区,基于 HyMap 航空高光谱遥感影像数据,分析湿地植被的一阶微分光谱和光谱吸收特征,利用逐步判别分析法筛 选识别精度较好的光谱特征参数参与 C4.5 决策树分类。结果表明:4 种湿地植被的一阶导数光谱特征差异较小, 吸收特征差异性相对较大;基于一阶微分光谱特征和光谱吸收特征利用 C4.5 决策树进行分类,可以实现湿地植 被在物种水平上的识别,并达到较好的分类精度。

关键词: 高光谱遥感; 光谱特征; 湿地植被; HyMap

中图法分类号: TP 751.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-070X(2016)03-0086-05

0 引言

近年来,高光谱遥感技术在湿地植被的精细识 别和分类方面的应用逐渐增多。由于高光谱遥感数 据具有波段多、信息量大、信息冗余等特点,如何对 高光谱数据进行降维处理是国内外学者研究的重点 问题之一^[1]。Hestir等采用光谱角分类器对美国加 州三角洲的入侵水生植物进行了物种识别和分类制 图^[2];邱琳等基于均值置信区间估计原理筛选高光 谱特征波段得到光谱差异显著的波段从而进行湿地 植物信息的提取^[3];刘雪华等采用马氏距离和主成 分分析法对高光谱数据进行降维,利用提取的光谱 信息构建湿地植物判别模型^[4]。然而,这些学者大 多通过分析光谱差异进行湿地植物分类研究,目前 基于高光谱影像利用光谱特征识别湿地植被种类和 组成的研究尚未深入展开。

本文以高光谱和高空间分辨率的 HyMap 航空 遥感影像数据为数据源,基于地面实测数据在影像 上提取典型湿地植被的反射光谱,利用光谱微分法 和连续统去除法分析湿地植物的光谱特征,基于逐 步判别分析法筛选识别精度较好的光谱特征参数参 与 C4.5 决策树分类,使湿地植被达到物种水平上 的识别。研究结果可为深入进行湿地资源调查和湿 地变化检测等提供科学依据。 1 研究区概况

萨克拉门托 – 圣华金三角洲(Sacramento – San Joaquin Delta)位于美国加利福尼亚州西北部萨克拉 门托河(Sacramento River)与圣华金河(San Joaquin River)的交汇处。2条河流经旧金山湾流入太平洋。 三角洲流域面积为4.5万km²,是加州的淡水输送 系统的主要枢纽^[5]。三角洲的水力学异质性体现 在该处水体的盐度、潮汐通量、水深的多变以及淡水 流量极端的季节与年际变化^[5]。一般时候淡水均 从各支流顺流流入萨克拉门托 – 圣华金两河,再流 入海湾;而涨潮时咸水可倒流入至三角洲的上游部 位。三角洲淡水流量有明显的季节性变化特征:冬 季的平均流量约1700m³/s,夏季平均流量则约为 540m³/s^[6]。

本文选取沉水植被巴西水草、浮水植被水葫芦、 挺水植被蒲草及岸栖植被辣椒水草4种研究区比较 典型的植物群落作为研究对象。

2 研究方法

2.1 数据获取及其预处理

研究区域的高光谱遥感数据来源于成像光谱仪 HyMap 的航摄影像,航摄时间为 2007 年 6 月 19—

收稿日期: 2015-01-21;修订日期: 2015-02-16

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(编号:XDA05050106)和生态十年专项项目"复杂背景下地物信息提取规则集构建"(编号:STSN-01-05)共同资助。

21日,航高1500m,空间分辨率3m。

HyMap 是澳大利亚 HyVista 公司研制的航空成 像光谱仪,共126 个波段,光谱分辨率由 12~16 nm 不等,波段范围为 0.450~2.543 μm。

飞行路线贯穿整个三角洲,共64条航带。本文研究区为第42,43和44航带上的舍曼(Sherman)岛水域(图1)。



图 1 研究区的地理位置图 Fig. 1 Location of the study area

本文野外实测样点的点位数据均利用 GPS 获 得,平面精度约1m。实测时记录了样点植被的种 类、盖度和位置等属性。每个样点都拍摄2张照片, 一张为样本整体景观,另一张为近距离单个植株。 每张照片都与相应的点位、拍摄时间建立了关联,方 便后续参考和计算。

HyMap 数据已由 HyVista 公司进行了几何纠正 和大气校正。本文仅对 11 个位于大气水汽吸收带 的波段和 1 个数据错误波段进行了剔除; 然后在 B29(R)B15(G)B8(B)假彩色合成图像基础上数字 化提取水域边界。

2.2 光谱特征提取

2.2.1 光谱导数计算

光谱微分法能够将原始光谱曲线的变化趋势和 曲率等特征进行放大,进而确定光谱曲线的变化区 域。一阶导数光谱能反映出植物中叶绿素等物质吸 收产生的波形变化,并揭示光谱峰值特征^[7]。因 此,将一阶光谱微分法应用于本次湿地植被的研究, 以期能够获取湿地植被识别的最佳波段。

一阶微分光谱的计算方法为[8]

$$\rho'(\lambda_i) = \left[\rho(\lambda_{i+1}) - \rho(\lambda_{i-1})\right]/2\Delta\lambda , (1)$$

式中: λ_i 为波段 *i* 的波长; $\rho'(\lambda_i)$ 为波长 λ_i 的一阶 微分光谱; $\Delta\lambda$ 为波长 λ_{i-1} 到 λ_i 的间隔, 视波段波 长而定。

2.2.2 光谱吸收特征提取

地物光谱曲线反映了地物的吸收和反射特征。 湿地植被在可见光和近红外光谱范围内,由于受叶 绿素和水体吸收作用的影响存在着精细的光谱吸收 特征,可以通过定义光谱吸收特征参数来定量描述。 因此,从光谱曲线中提取的光谱吸收特征参数可以 用来对湿地植被进行识别和分类。主要的光谱吸收 特征量化参数有 5 种^[8],如下所示。

1)吸收深度(*H*)。归一化值为1的曲线和吸收 谷的最小值之间的垂直距离。

2)吸收面积(*A*)。归一化值为1的曲线与吸收 谷之间的面积。

3) 吸收对称度(S)。其公式为

$$S = A_{\rm L}/A \quad , \tag{2}$$

式中: A_L 为吸收谷左半端的面积; A 为吸收谷整体面积。

4)吸收斜率(K)。其公式为

$$K = (R_{\rm e} - R_{\rm s})/(\lambda_{\rm e} - \lambda_{\rm s}) , \qquad (3)$$

式中: λ_{s} , R_{s} 分别为吸收谷起始点和对应反射率; λ_{e} , R_{e} 分别为吸收谷终点和对应反射率。

5)光谱吸收指数(SAI)。其公式为

$$SAI = \frac{dR_e + (1 - d)R_s}{R_p}$$
, (4)

式中吸收对称性参数 d 可表达为

$$d = (\lambda_{e} - \lambda_{p})/(\lambda_{e} - \lambda_{s}) , \qquad (5)$$

其中 λ_p 和 R_p 分别为吸收点 p的波长位置和对应反射率。

2.3 逐步判别分析法

通过逐步判别分析可以对湿地植物识别具有最 大判别能力的光谱特征参数筛选出来^[9]。本文基 于 SPSS 软件进行逐步判别分析。

2.4 C4.5 决策树

1993 年 Quinlan 提出 C4.5 算法,该算法改进了 ID3 算法,用信息增益率取代了 ID3 算法中的信息

增益来选择决策树的测试属性。信息增益率为

$$R = G/S , \qquad (6)$$

式中:信息增益率 R 为信息增益 G 与分割信息量 S 的比值。C4.5 算法选取信息增益率最大的测试属性值作为节点,生成决策树^[10]。

3 光谱特征分析与植被信息提取

3.1 光谱特征分析

根据 GPS 采样数据的属性信息,选取单种植被

盖度为 80% ~100% 的 629 个实测点为样本点,其 中训练样本点 370 个,验证点 259 个,如表 1 所示。 根据训练样本在影像上提取光谱曲线,由于波长大 于 1.343 6 μm(中红外)的波段受水体的影响较大, 因此仅对 0.452 ~1.343 6 μm 波段进行分析。

表 1 研究区地物类别样本情况 Tab. 1 Samples of different wetland vegetation types in the study area

| | type | in the stat | uy urcu | | |
|-------|------|-------------|---------|------|----|
| 植被类型 | 水葫芦 | 巴西水草 | 蒲草 | 辣椒水草 | 其他 |
| 训练样本数 | 72 | 64 | 69 | 78 | 87 |
| 验证样本数 | 54 | 48 | 51 | 47 | 59 |



图 2 不同变换方法的光谱曲线

Fig. 2 Spectral curves with different transformation methods

从图 2(a)可以看出,4 种湿地植物的光谱曲线 都呈现出典型绿色植物特有的光谱特征。不同水分 梯度下的湿地植物由于水体背景噪声的影响,光谱 特征(特别是在近红外波段)有着明显的差距。

4 种植被的一阶微分光谱曲线如图 2(b)所示。 不同植被在 0.52 μm,0.73 μm 和 1.01 μm 附近有 3 个较明显的反射率增速极值;在 0.94 μm,1.13 μm 和 1.30 μm 分别达到反射率减速最快的极点,且在 这些极值点上的光谱值差异较大。因此,本文选择 差异比较明显的波段 0.511 ~0.526 6 μm,0.694 6 ~ 0.74 μm,0.929 9 ~0.945 5 μm,0.992 9 ~1.024 2 μm, 1.115 5 ~1.159 5 μm,1.288 2 ~1.330 2 μm 共 17 个光谱值用于物种识别研究。

分析研究区典型湿地植被光谱曲线,发现不同 种类湿地植物由于含水量、叶绿素含量和细胞结构 的差异,在 0.452~0.542 μm,0.572 3~0.74 μm,

Tah 2

0.9299~1.0703 μm 和1.1155~1.2602 μm 波段 存在4个差异明显的吸收谷。因此采用连续统去除 法^[11]对这4个吸收波段进行归一化处理(图2 (c)),进而深入分析植被光谱的吸收特征。

根据原始光谱计算斜率(K)和光谱吸收指数 (SAI),对光谱连续统去除后的吸收深度做进一步 计算,得到各吸收波段的吸收深度(H)、吸收谷面积 (A)和对称度(S)。湿地植物在4个吸收谷的特征 参数表现不同,有的差异明显,有的变化则比较稳定 (表2)。巴西水草由于沉入水中,在第3,4吸收波 段的吸收谷最大;而辣椒水草在第1,2,4波段的吸 收谷最小。这些特征可通过吸收深度(H)和吸收谷 面积(A)等来定量描述。4种植物在绿光和近红外 区间的反射峰值存在差异,可通过斜率(K)和光谱 吸收指数(SAI)使光谱特征信息差距加以突出。

表 2 不同湿地植被在 4 个吸收谷处的吸收特征分析 Spectral absorption characteristic parameters of different wetland vegetation in 4 adsorption valleys

| | 140.4 | opee | uui u | 0001 Pt | ion ene | ii ucivi | istic | P ^{ui} ui | never | 5 01 4 | mere | nee | uuuu | , ege | uuion | | abor p | | meys | |
|------|------------|--------|-------|---------|---------|----------|---------|--------------------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|------------------|-------|---------|-------|-------|---------|
| 植被 | 植被 0.45 μm | | | 0.68 µm | | | 0.98 µm | | | | 1.16 µm | | | | | | | | | |
| 类型 | H_1 | K_1 | A_1 | S_1 | SAI_1 | H_2 | K_2 | A_2 | S_2 | SAI_2 | H_3 | K_3 | A_3 | S_3 | SAI ₃ | H_4 | K_4 | A_4 | S_4 | SAI_4 |
| 水葫芦 | 0.291 | -0.154 | 0.014 | 0.602 | 0.332 | 0.875 | 2.044 | 0.106 | 0.736 | 7.375 | 0. 179 | 0.324 | 0.014 | 0.486 | 0.417 | 0.263 | - 1.269 | 0.023 | 0.331 | 0.725 |
| 巴西水草 | 0.201 | -0.196 | 0.009 | 0.559 | 4.019 | 0.783 | 0.304 | 0.074 | 0.832 | 3.457 | 0. 501 | 0.073 | 0.046 | 0.421 | 0.228 | 0.452 | -0.157 | 0.041 | 0.308 | 1.672 |
| 辣椒水草 | 0.088 | 0.216 | 0.003 | 0.447 | 0.078 | 0.571 | 0.654 | 0.064 | 0.723 | 1.643 | 0.079 | 0.142 | 0.006 | 0.518 | 0.275 | 0.131 | -0.290 | 0.011 | 0.329 | 0.273 |
| 蒲草 | 0.259 | 0.075 | 0.013 | 0.568 | 0.107 | 0.840 | 1.251 | 0.097 | 0.751 | 4.987 | 0.087 | 0.242 | 0.007 | 0.509 | 0.446 | 0.159 | -0.604 | 0.014 | 0.320 | 0.390 |

3.2 特征选择

由于提取的参数众多,特征重叠,所以在建模之前需进行参数选择,对一阶微分的17个波段和20 个光谱吸收特征参数进行了逐步判别分析。其中求 解过程中,逐步选择变量的方式采用马氏距离,判别 函数系数选择 Fisher 判别方程的系数。最终判别结 果如表3所示。

表 3 不同变化方法的植被识别精度及入选特征 Tab. 3 Discriminated accuracies and selected characteristics with different methods

| 参数 | 识别精度/% | 入选特征 |
|--------|---------|---|
| 一阶微分光谱 | £ 87.18 | 0.5266,0.7098,0.9299,1.0242, 1.1303,1.1449,1.3021 |
| 光谱吸收特征 | E 92.67 | K_1 , SAI_1 , K_2 , SAI_2 , H_3 , A_3 , SAI_4 |

3.3 基于 C4.5 算法构建决策树

基于归一化差分水体指数^[12](normalized difference water index, NDWI)剔除研究区的水体信息,将 逐步判别体分析法入选的 14 个特征参数作为测试 变量,水葫芦、巴西水草、辣椒水草、蒲草和其他植被 作为目标变量,将5 类地物的 ROI 文件和 14 个测试 变量合并。基于 Matlab 处理^[13],本研究共构建出 57 个节点,28 条知识规则。

4 分类结果与精度评价

利用上述方法,得到的分类结果见图3。



图 3 研究区域湿地植被信息提取结果图 Fig. 3 Classification of wetland vegetation in the study area

从图 3 可知,蒲草和辣椒水草主要分布于浅滩 上,石莲花(属其他植被类)主要分布在水域中流速 较缓的区域,巴西水草则分布在离岸有一定距离,河 水有一定深度的区域。

对照样点的实测资料,对分类结果进行精度评价,生成的混淆矩阵如表4所示。分类总精度达到 84.17%,Kappa系数达到0.8017,表明本文的分类 结果具有较高的精度。

| 表 | ŧ4 | 典型湿地植被分类结果精度 |
|---|----|--------------|
| | | |

Tab. 4 Classification accuracy of typical wetland vegetation

| 本 本米 王 | | 用户精 | | | | | | |
|---------|-------|----------|------|----------------|-------|-------|--|--|
| 植板关型 | 水葫芦 | 巴西水草 | 蒲草 | 辣椒水草 | 其他 | 度/% | | |
| 水葫芦 | 48 | 2 | | 4 | | 88.89 | | |
| 巴西水草 | 2 | 37 | | | 7 | 80.43 | | |
| 蒲草 | | | 45 | 4 | 3 | 86.54 | | |
| 辣椒水草 | 2 | | 5 | 39 | | 84.78 | | |
| 其他 | 2 | 9 | 1 | | 49 | 80.33 | | |
| 生产者精度/% | 88.89 | 77.08 | 88.2 | 4 82.98 | 83.05 | 5 | | |
| 分类 | 总精度 | = 84.17% | Ka | Kappa = 0.8017 | | | | |

5 结论

本文基于 HyMap 高光谱航空遥感数据提取湿 地植物光谱曲线,定量分析不同种类湿地植物的光 谱特征,进行湿地植物种类识别研究,取得的主要结 论如下:

1)研究发现,4 种湿地植被由于叶绿素含量和 细胞结构的差异,在0.452~0.542 μm, 0.572 3~ 0.74 μm,0.929 9~1.070 3 μm 和1.115 5~1.260 2 μm 波段存在4个差异明显的吸收谷,可以通过固 定的吸收波段来分析不同植物光谱的吸收特征。

2)通过对一阶微分光谱和光谱吸收特征参数 进行逐步判别分析可知,4种湿地植被的一阶导数 光谱特征差异较小,吸收特征差异性相对较大。这 是因为湿地植物特殊的生存环境,光谱反射率受背 景水体的影响较大,由于受水体吸收作用的影响,其 光谱吸收特征的识别效果更好。

3)基于一阶导数光谱特征和光谱吸收特征,采 用 C4.5决策树分类法可以使湿地植物的识别达到 物种水平上,获得较好的分类精度。

参考文献(References):

- [1] 柳萍萍,林 辉,孙 华,等. 高光谱数据的降维处理方法研究
 [J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(11):34-38.
 Liu P P, Lin H, Sun H, et al. Dimensionality reduction method of hyperion EO 1 data[J]. Journal of Central South University of Forest,2011,31(11):34-38.
- [2] Hestir E L, Khanna S, Andrew M E, et al. Identification of invasive vegetation using hyperspectral remote sensing in the California Delta ecosystem [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112 (11):4034-4047.
- [3] 邱琳,林辉,臧卓,等.基于均值置信区间带的湿地植被高光谱特征波段选择[J].中南林业科技大学学报,2013,33(1):
 41-45.

Qiu L, Lin H, Zang Z, et al. Hyper – spectral characteristic band selection for wetland vegetation based on mean confidence interval [J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology,2013,33(1):41-45. [4] 刘雪华,孙 岩,吴 燕.光谱信息降维及判别模型建立用于识别湿地植物物种[J].光谱学与光谱分析,2012,32(2):459-464.

Liu X H, Sun Y, Wu Y. Reduction of hyperspectral dimensions and construction of discriminating models for identifying wetland plant species [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis,2012,32(2):459 – 464.

- [5] Lawrence R L, Wood S D, Sheley R L. Mapping invasive plants using hyperspectral imagery and Breiman Cutler classifications (randomForest) [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 100 (3): 356 - 362.
- [6] Jassby A D, Cloern J E. Organic matter sources and rehabilitation of the Sacramento – San Joaquin Delta (California, USA) [J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2000, 10 (5):323 – 352.
- [7] Becker B L, Lusch D P, Qi J G. Identifying optimal spectral bands from in situ measurements of Great Lakes coastal wetlands using second - derivative analysis [J]. Remote Sensing of Environment, 2005,97(2):238-248.
- [8] 浦瑞良,宫 鹏.高光谱遥感及其应用[M].北京:高等教育出版 社,2000:51-61.

Pu R L, Gong P. Hyperspectral Remote Sensing and Its Applications

[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000:51-61.

- [9] Fung T, Ma H F Y, Siu W L. Band selection using hyperspectral data of subtropical tree species [J]. Geocarto International, 2003, 18 (4):3-11.
- [10] 时王侠. 基于粗糙集理论和 C4.5 算法相结合的遥感影像分类研究[D]. 福州:福建师范大学,2008.
 Shi W X. The Classification of Remote Sensing Image Based on Rough Sets and C4.5 Algorithm[D]. Fuzhou; Fujian Normal University,2008.
- [11] 徐元进,胡光道,张振飞.包络线消除法及其在野外光谱分类中的应用[J].地理与地理信息科学,2005,21(6):11-14. Xu Y J,Hu G D,Zhang Z F. Continuum removal and its application to the spectrum classification of field object [J]. Geography and Geo - Information Science,2005,21(6):11-14.
- [12] McFeeters S K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7):1425-1432.
- [13] 刘 刚. MATLAB 数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2010:35-39.

Liu G. MATLAB Digital Image Processing [M]. Beijing; China Machine Press, 2010; 35 - 39.

Species identification of wetland vegetation based on spectral characteristics

CHAI Ying¹, RUAN Renzong¹, CHAI Guowu², FU Qiaoni¹

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Hydrology and Water Resources Rureau of Henan Province, Nanyang 474500, China)

Abstract: Certain spectral characteristics have a direct impact on accuracy and efficiency of identifying the wetland vegetation. In this paper, the authors mapped wetland vegetation with 3 m spatial resolution for HyMap image data from Sherman Island of California's Sacramento – San Joaquin delta. The first – derivative spectral features and spectral absorption features of different species were analyzed by the method of stepwise discriminate analysis , and the spectral characteristic parameters with better classification accuracy were screened to identify species of wetland vegetation in C4.5 decision tree classifier. The results showed that the absorption features of four plants have larger differences than first – derivative spectral features. The results also showed that C4.5 decision tree classifier in combination with the first – derivative spectral characteristics and spectral absorption characteristics could be effective in distinguishing wetland vegetation and allowing for species – level detection.

Keywords: hyperspectral remote sensing; spectral characteristics; wetland vegetation; HyMap

第一作者简介:柴颖(1992-),女,硕士研究生,主要从事生态遥感与GIS研究。Email: elysee115@163.com。

通信作者: 阮仁宗(1965 -),男,副教授,主要从事遥感与 GIS 等方面研究。Email: ruanrenzong@163.com。

(责任编辑:邢字)