

基于光谱特征空间的监督分类 中包络线去除效能评价*

王霄鹏^{1,2,3}, 张 杰^{1,3}, 任广波³, 马 毅³

(1. 大连海事大学, 辽宁 大连 116026; 2. 青岛大学, 山东 青岛 266071;

3. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要:对覆盖黄河口滨海湿地的 PROBA CHRIS 高光谱遥感影像进行包络线去除变换,采用 6 种常用的基于光谱特征空间的监督分类算法对变换前后的影像数据进行滨海湿地典型地物分类,通过目视对比分析和定量分析相结合的方法分析比较变换前后的分类结果,评价包络线去除方法对该类算法影响的效果和能力。结果表明,包络线去除方法能够提高部分监督分类算法针对滨海湿地典型植被类型的区分和识别能力;但由于滨海湿地内具有面积较大的裸滩和浑浊水体,这两类地物在影像中的光谱特征相近,而包络线去除方法并不能解决二者的误分问题,因此并不能提高该类算法针对 CHRIS 高光谱遥感影像的总体分类精度。

关键词:高光谱;CHRIS;包络线去除;滨海湿地;分类

中图分类号:TP751.1

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2015)02-0195-12

高光谱影像光谱分辨率高、波段众多,能够获取地物几乎连续的光谱曲线^[1]。因此,高光谱影像包含丰富的地物光谱信息,而不同地物类型的光谱特征不同,这正是高光谱遥感技术应用于遥感监测和地物分类的理论基础^[2]。然而,不同数据源所获取的光谱信息并不完全一致,这给研究者采用多源高光谱数据进行研究带来了困难:不同的传感器由于其指标参数不同,所获取的光谱信息有所不同;相同地物的实验室光谱和野外光谱由于测量环境不同,也具有一定差别。为了弱化或消除这种差别,研究人员引入了多种光谱分析方法,其中之一是包络线去除法(Continuum Removal, CR)。

包络线去除法是一种非线性光谱分析方法,它可以有效地突出光谱曲线的吸收和反射特征,并将其归一化到一致的光谱背景上,有利于和其他光谱曲线进行特征数值的比较,从而提取出特征波段以供分类识别^[3]。近年来,该方法被广泛应用于高光谱特征提取和遥感地物分类等研究领域。Rodger 等使用简化二次型法和包络线去除法评估矿石光谱曲线在短波红外范围内的吸收特征^[4]。Youngentob 等使用多端元光谱混合分析法和包络线去除法对高光谱遥感数据中的桉树种类进行区分^[5]。Gomez 等通过对包络线去除法和 PLSR 方法进行比较,利用实验室和机载高光谱数据测量土壤成分^[6]。Skidmore 等采用包络线去除方法分析玉米光谱曲线测量天然气对其光谱反射率的影响^[7]。白继伟等针对原始 PHI 高光谱图像文件和去包络线后的图像文件比较了最大似然分类法和光谱角度匹配法两种算法的分类结果^[8]。丁丽霞等基于包络线法对不同树种叶片 ASD 高光谱数据进行了特征分析^[9]。樊磊等利用包络线去除法对岩石光谱进行分析并提取岩石相关的特征波段^[10]。赵钊等运用包络线去除法和相关系数法分析植物含水率与反射光谱之间的关系,揭示了 9 种荒漠植被的含水率和对应的特征波段^[11]。刘丽娟等利用包络线去除方法实现了机载 CA-SI 和 SASI 高光谱数据整合,进而应用光谱微分及曲线匹配技术,选取 SVM 分类器实现了研究区的树种填图^[12]。分析以上研究可以发现,现阶段包络线去除方法多作为一种归一化手段用于特征光谱精细分析或高

* 收稿日期:2013-02-10

资助项目:国家自然科学基金——海岸带遥感影像半监督学习自动化分类方法研究——以黄河三角洲滨海湿地分类为例(41206172)

作者简介:王霄鹏(1981-),男,山东枣庄人,博士研究生,实验师,主要从事遥感图像处理、数据挖掘方面研究。E-mail:qduwzp@163.com
(王 燕 编辑)

光谱影像分类前的预处理工作,然而针对包络线去除方法在滨海湿地高光谱遥感分类中对多种常用监督分类算法的影响和效能进行系统、定量分析评价的工作并不多见。

本文以覆盖黄河口滨海湿地范围的 PROBA CHRIS 高光谱遥感影像为实验数据,首先对影像进行包络线去除处理,然后采用 6 种常用的基于光谱特征空间的监督分类算法对包络线去除前后的影像进行滨海湿地典型地物分类(采用同一训练样本),分析比较包络线去除前后各算法分类精度及受包络线去除变化的影响,从而针对滨海湿地高光谱分类应用中包络线去除方法对该类监督分类算法影响的效果和能力进行评价。

1 数据与方法

1.1 实验数据及预处理

PROBA 是欧洲空间局于 2001-10-22 发射的一颗小型太阳同步轨道卫星,轨道高度 615 km,倾角 97.89° 。卫星上搭载了紧凑式高分辨率成像分光计 (Compact High Resolution Imaging Spectrometer, CHRIS),成像光谱范围为 $400\sim 1\,050\text{ nm}$,光谱分辨率 $1.25\sim 11.00\text{ nm}$,地面空间分辨率 17 或 34 m。CHRIS 传感器有 5 种成像模式^[13],具体的工作参数如表 1 所示。每种成像模式均能获取同一地点 5 个角度的影像,分别为 0° , $+36^{\circ}$, -36° , $+55^{\circ}$ 和 -55° ^[14]。

表 1 CHRIS 传感器成像模式
Table 1 Specifications of CHRIS

成像模式	光谱范围/nm	波段数	空间分辨率/m	幅宽/km ²	应用领域
模式 1	406~1 003	62	34	14×14	陆地与水
模式 2	406~1 036	18	17	14×14	水
模式 3	438~1 035	18	17	14×14	陆地
模式 4	486~796	18	17	14×14	陆地
模式 5	438~1 036	37	17	14×7	陆地

本文所用的试验数据为 2012-06-01 获取的黄河口湿地 CHRIS 影像^[15],传感器工作模式为模式 2,视角为 0° 。CHRIS 数据预处理主要包括条带噪声去除、大气校正等步骤。本文采用欧空局提供的 BEAM 软件进行相关预处理,该软件的主要功能是对欧空局提供的遥感影像进行预处理和分析。经过 BEAM 软件处理后的 CHRIS 影像,垂直和水平条带噪声被消除,影像灰度值变化不大,去噪效果良好;将原始影像的幅亮度数据转换为反射率数据,消除了大气影响。将整景影像作为实验数据,预处理后的影像(以下称原始影像)如图 1a 所示,对该影像进行包络线去除变换,变换后的影像(以下称包络线去除影像)由 R 为 786.1 nm, G 为 593.2 nm, B 为 511.5 nm 假彩色合成,如图 1b 所示。

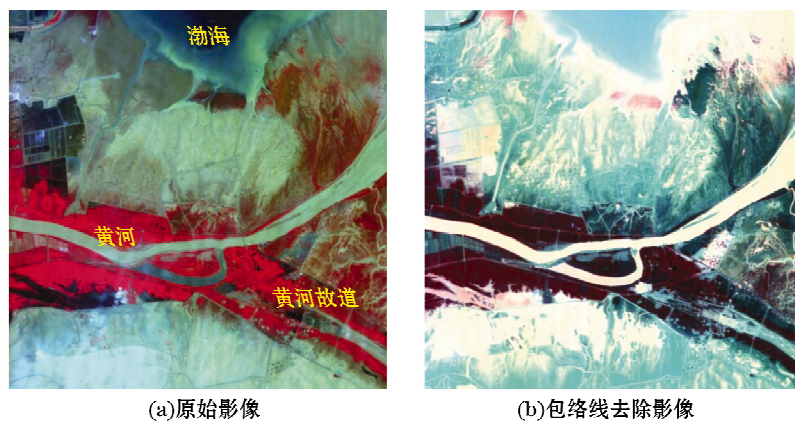


图 1 实验影像

Fig. 1 Experimental image

1.2 现场踏勘

实验影像覆盖的区域位于黄河口入海口新老河道交界处。该区域地物类型丰富,其中天然湿地包括芦苇、翅碱蓬、柽柳和滩涂等地物,人工湿地包括养殖水面、水库和坑塘。为了准确评价实验的地物分类精度,于2012-09赴该区域开展现场踏勘,采用典型样区和路线记录的方法采集现场地物类型,共获取高光谱数据100余组,地物照片230张。应用上述现场资料,并结合同时期的高分辨率遥感影像进行人机交互解译,提取生成CHRIS图像覆盖区域的地物解译图像(图2),将研究区域分为芦苇、裸滩/裸地、清澈水体(海水及坑塘水面)、浑浊水体(黄河河道)、碱蓬和柽柳六类滨海湿地典型地物类型,以此作为监督分类的标准和评价依据,并选取光谱信息代表性较好且分布均匀的斑块作为训练样本,如图3所示。

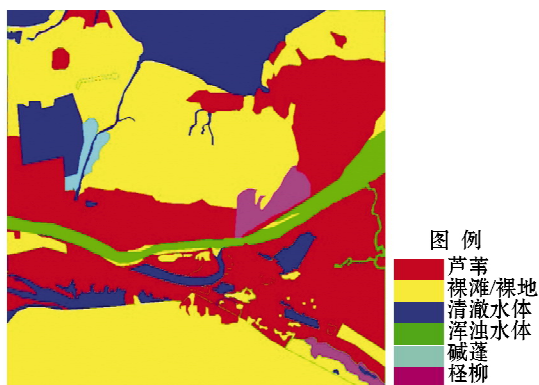


图2 现场踏勘地物信息图

Fig. 2 Interpreting image based on field work

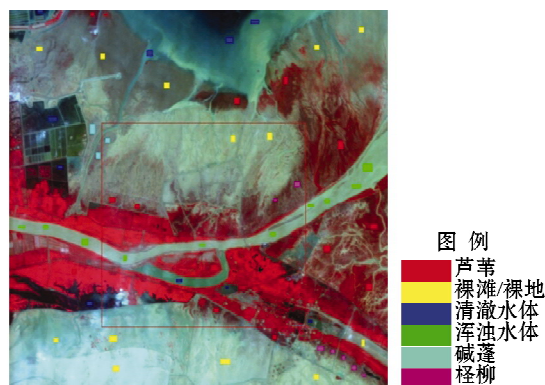


图3 训练样本

Fig. 3 Training samples

1.3 包络线去除

包络线去除是一种将反射率光谱归一化的方法,经过包络线去除后的影像,噪声得到有效抑制,突出了地物光谱的特征信息,有利于进行地物识别和分类。包络线是连接波谱顶部的凸起(局部波谱最大值)的直线段拟合。包络线去除法采用的公式^[16]为

$$S_{\alpha} = S/C \quad (1)$$

式中, S_{α} 表示包络线去除结果; S 表示初始波谱; C 表示包络曲线。

采用公式(1)对原始影像进行包络线去除变化,得到包络线去除影像。对比图1中的原始影像和包络线去除影像,通过目视解译可以发现,包络线去除后影像整体的光谱特征发生了较明显的变化,其中以水体和绿色植被的表现最为明显。

2 光谱曲线分析

在图1a和图1b中的相同位置选取6种地物类型的训练样本(图3),并提取该6种地物类型的平均光谱曲线(每种地物样本选取约500个样本点,计算其各波段反射率均值),包络线去除方法对平均光谱曲线的变化效果如图4所示。图4a原始影像中,6种地物在波长411.3 nm(波段1)至692.7 nm(波段13)的光谱范围内相差不大,反射率都在0.2以下,仅在波长710.7 nm(波段14)至1 026.7 nm(波段18)的光谱范围内差别较大,尤其是浑浊水体和裸滩/裸地两种地物,其光谱曲线比较接近,只在波长1 026.7 nm(波段18)处差别稍大;包络线去除变换后,如图4b所示,6种地物光谱曲线的形状差别增大,在波长491.8 nm(波段3)至波长878.6 nm(波段17)范围内,差别都比较明显。因此,从理论上讲,当地物光谱数量较多、光谱形状差别较小时,引入包络线去除方法,可以突出光谱曲线的吸收和反射特征,增大不同地物光谱形状的差别,提高某些地物的可分性。

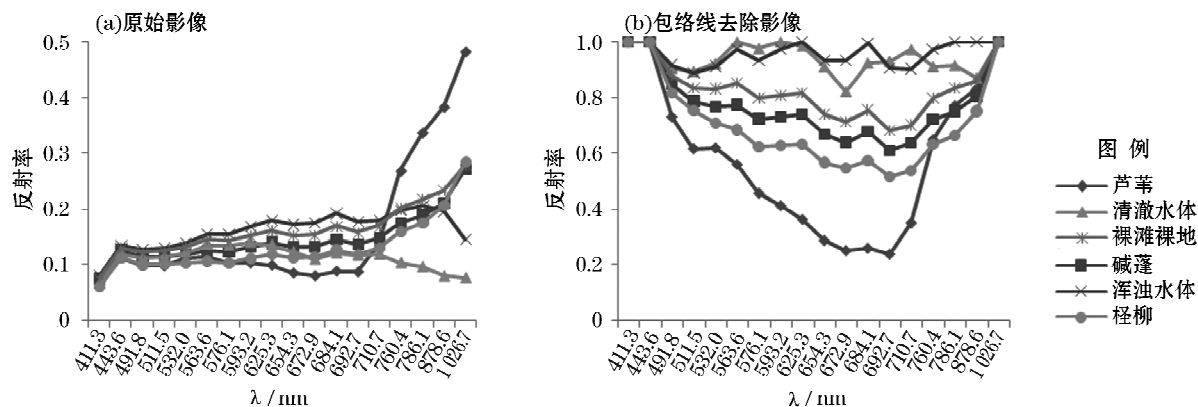


图 4 典型地物光谱曲线

Fig. 4 Typical wetlands spectral curves

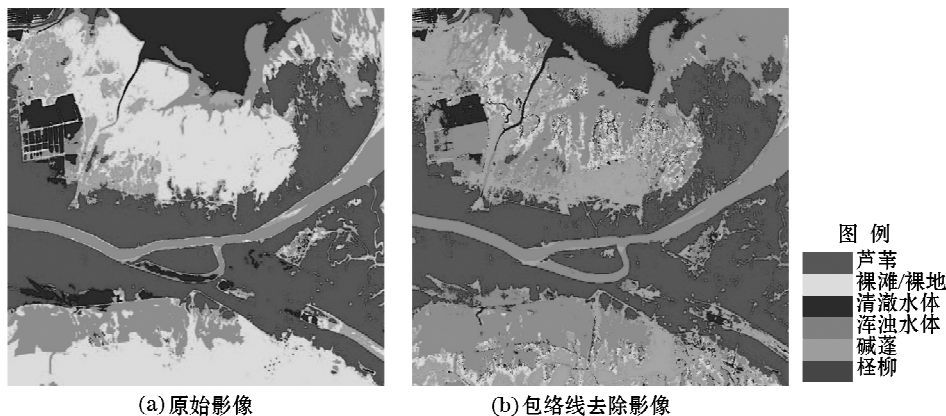
3 分类与评价

选取二进制编码、最小距离法、马氏距离法、光谱角填图、光谱信息散度和支持向量机六种典型的基于光谱特征空间的监督分类算法,对图 1 中的两景实验数据进行监督分类(采用相同的训练样本,图 3),并基于图 2 的地物信息进行分类精度计算,对分类结果采用目视分析和定量分析两种方法进行比较分析,评价包络线去除变换对各算法分类精度及对各类地物分类效果的影响。

3.1 二进制编码(Binary Encoding, BE)

BE 算法的分类结果如图 5 所示。图 5a 为包络线去除之前的原始影像分类结果,图 5b 为包络线去除之后的影像分类结果。

通过目视分析可以发现,包络线去除前的影像分类结果比较平整,碎斑较少,对于芦苇和清澈水体的分类比较准确,但是影像整体有部分裸滩/裸地被误分为浑浊水体,影像左上部部分裸滩/裸地被误分为碱蓬,影像下部部分裸滩/裸地被误分为芦苇;包络线去除以后的影像分类结果碎斑较多,对芦苇的分类比较准确,但对其他地物的分类结果较差,影像上部和下部绝大部分裸滩/裸地被误分为浑浊水体和碱蓬,影像上部部分清澈水体被误分为浑浊水体,影像下部部分裸滩/裸地被误分为芦苇。



(a) 原始影像

(b) 包络线去除影像

图 5 BE 分类结果

Fig. 5 BE classification results

包络线去除前后 BE 算法的分类精度见表 2。由表 2 可知,包络线去除后芦苇的生产者精度和用户精度均有所提高,但变化不明显(变化量 $<3\%$);碱蓬的生产者精度具有明显(变化量 $\geq 3\%$)提高,用户精度变化不明显;柾柳的生产者精度有明显降低,而用户精度有明显提高;清澈水体的生产者精度和用户精度有明显降低;浑浊水体的生产者精度有明显提高,而用户精度下有明显降低;裸滩/裸地的生产者精度有明显降低,而用户精度有明显提高;分类结果的总体分类精度和 Kappa 系数下降明显。

表 2 包络线去除前、后 BE 算法分类精度比较

Table 2 BE classification accuracy comparison before and after continuum removal

分类精度		原始影像		包络线去除影像	
		生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%
典型 土地 覆盖 类型	芦 苇	78.43	88.96	79.87	89.98
	碱 蓬	48.27	4.32	78.83	3.38
	柾 柳	45.02	25.70	37.36	40.01
	清澈水体	65.99	95.12	42.56	78.23
	浑浊水体	73.66	26.10	85.20	14.25
	裸滩/裸地	67.85	89.42	24.62	93.16
总体分类精度/%		70.865 0		50.080 0	
Kappa 系数		0.600 9		0.388 5	

3.2 最小距离法 (Minimum Distance, MinD)

MinD 算法的分类结果如图 6 所示。图 6a 为包络线去除之前的原始影像分类结果,图 6b 为包络线去除之后的影像分类结果。

通过目视分析可以发现,包络线去除前的影像分类结果比较平整,碎斑较少,对于芦苇和清澈水体的分类比较准确,但是影像上部有部分裸滩/裸地被误分为碱蓬,影像整体下部有部分裸滩/裸地被误分为浑浊水体;包络线去除以后的影像分类结果碎斑较多,对芦苇的分类比较准确,影像整体有大片裸滩/裸地被误分为碱蓬和浑浊水体,影像上部有部分清澈水体被误分为浑浊水体。

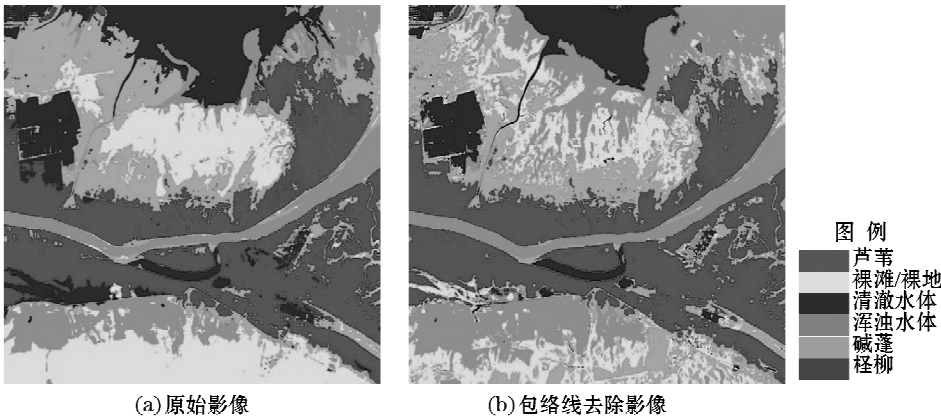


图 6 MinD 算法分类结果
Fig. 6 MinD classification results

包络线去除前、后 MinD 算法分类精度见表 3。由表 3 可以发现,包络线去除后芦苇的生产者精度和用户精度无明显变化;碱蓬和柾柳的生产者精度有明显降低,用户精度无明显变化;清澈水体的生产者精度有明显降低,而用户精度有明显提高;浑浊水体的生产者精度有明显提高,而用户精度有明显降低;裸滩/裸地的生产者精度和用户精度均有明显降低;分类结果的总体分类精度和 Kappa 系数下降明显。

表 3 包络线去除前、后 MinD 算法分类精度比较
Table 3 MinD classification accuracy comparison before and after continuum removal

分类精度		原始影像		包络线去除影像	
		生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%
典型 土地 覆盖 类型	芦 苇	62.09	94.55	63.97	94.52
	碱 蓬	85.21	3.77	74.39	3.72
	桤 柳	69.22	17.52	55.38	18.02
	清澈水体	82.39	80.44	62.21	95.44
	浑浊水体	76.59	27.85	82.42	17.43
	裸滩/裸地	47.29	95.40	40.32	82.79
总体分类精度/%		59.656 8		54.307 2	
Kappa 系数		0.494 2		0.429 3	

3.3 马氏距离(Mahalanobis Distance,MahD)

MahD 算法的分类结果如图 7 所示。图 7a 为包络线去除之前的原始影像分类结果,图 7b 为包络线去除之后的影像分类结果。

通过目视分析可以发现包络线去除前后的影像分类结果比较接近,碎斑均比较多。包络线去除前的分类结果,对芦苇和浑浊水体的分类比较准确,但是影像整体有部分裸滩/裸地被误分为碱蓬,影像上部有小片裸滩/裸地被误分为浑浊水体,影像下部有少量清澈水体被误分为碱蓬;包络线去除以后的影像分类结果碎斑更多,对芦苇的分类比较准确,影像整体裸滩/裸地被误分为碱蓬现象更为严重,影像上部有部分裸滩/裸地和清澈水体被误分为浑浊水体,影像下部有小部分裸滩/裸地被误分为浑浊水体。

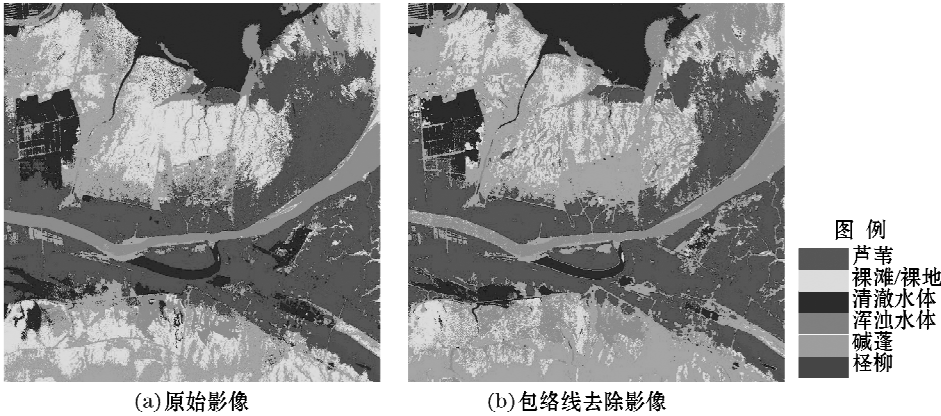


图 7 MahD 算法分类结果
Fig. 7 MahD classification results

包络线去除前、后 MahD 算法分类精度见表 4。由表 4 可以发现,包络线去除后芦苇的生产者精度有明显降低,用户精度无明显变化;碱蓬的生产者精度和用户精度无明显变化;桤柳的生产者精度有明显降低,而用户精度无明显变化;清澈水体的生产者精度有明显降低,而用户精度有明显提高;浑浊水体和裸滩/裸地的生产者精度和用户精度均有明显降低;分类结果的总体分类精度和 Kappa 系数下降明显。

表 4 包络线去除前、后 MahD 算法分类精度比较
Table 4 MahD classification accuracy comparison before and after continuum removal

分类精度		原始影像		包络线去除影像	
		生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%
典型 土地 覆盖 类型	芦 苇	75.08	94.17	69.66	94.34
	碱 蓬	88.63	4.18	89.95	3.03
	桤 柳	72.88	28.51	57.20	30.40
	清澈水体	79.59	84.82	70.41	94.39
	浑浊水体	80.36	42.95	76.34	27.14
	裸滩/裸地	55.32	91.18	40.17	82.97
总体分类精度(%)		67.542 3		57.292 2	
Kappa 系数		0.575 4		0.463 4	

3.4 光谱角填图(Spectral Angle Mapper,SAM)

SAM 算法的分类结果如图 8 所示。图 8a 为包络线去除之前的原始影像分类结果,图 8b 为包络线去除之后的影像分类结果。

通过目视分析可以发现包络线去除前的影像分类结果比较平整,碎斑较少,对于芦苇的分类比较准确,但是影像上部和下部有部分裸滩/裸地被误分为浑浊水体和碱蓬,影像右部和中部有部分芦苇被误分为桤柳;包络线去除以后的影像分类结果碎斑较多,对芦苇的分类比较准确,但影像上部和中部裸滩/裸地被误分为浑浊水体和碱蓬的现象更为严重。

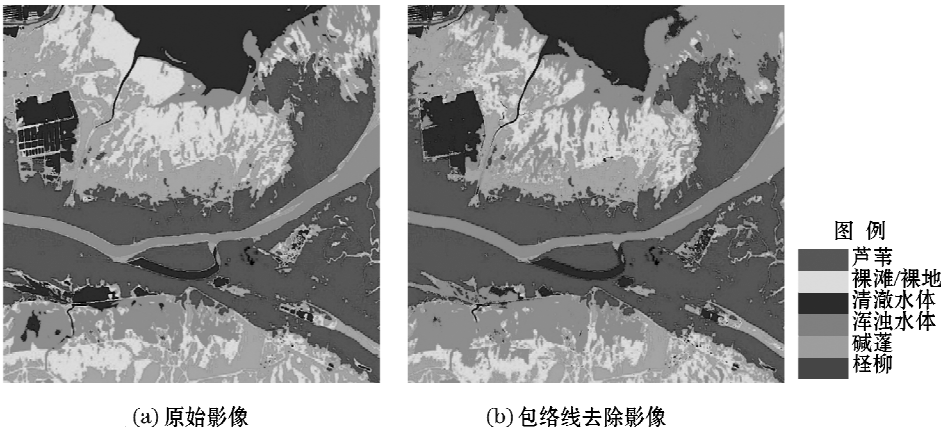


图 8 SAM 算法分类结果
Fig. 8 SAM classification results

包络线去除前、后 SAM 算法分类精度见表 5。由表 5 可以发现,包络线去除后芦苇的生产者精度有明显提高,而用户精度无明显变化;碱蓬和桤柳的生产者精度有明显降低,用户精度有少许提高,但不明显;清澈水体和裸滩/裸地的生产者精度有明显降低,而用户精度有明显提高;浑浊水体的生产者精度有明显提高,而用户精度有明显降低;分类结果的总体分类精度和 Kappa 系数无明显变化。

表 5 包络线去除前、后 SAM 算法分类精度比较
Table 5 SAM classification accuracy comparison before and after continuum removal

分类精度		原始影像		包络线去除影像	
		生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%
典型 土地 覆盖 类型	芦 苇	62.62	95.08	67.39	93.81
	碱 蓬	77.06	3.23	71.95	3.93
	桤 柳	69.65	16.58	61.08	17.38
	清澈水体	76.87	91.28	65.63	94.66
	浑浊水体	76.65	28.68	83.38	17.24
	裸滩/裸地	44.37	84.66	40.00	91.34
总体分类精度(%)		57.743 5		56.002 5	
Kappa 系数		0.469 0		0.452 5	

3.5 光谱信息散度(Spectral Information Divergence,SID)

SID 算法的分类结果如图 9 所示。图 9a 为包络线去除之前的原始影像分类结果,图 9b 为包络线去除之后的影像分类结果。

通过目视分析可以发现包络线去除前的影像分类结果比较平整,碎斑较少,对于芦苇分类比较准确,但是影像上部和下部均有部分裸滩/裸地被误分为碱蓬和浑浊水体,影像整体有部分清澈水体被误分为浑浊水体;包络线去除以后的影像分类结果碎斑较多,对芦苇的分类比较准确,影像上部仍有部分裸滩/裸地被误分为碱蓬,但影像下部裸滩/裸地被误分为碱蓬的面积有所降低,影像上部有大片裸滩/裸地被误分为浑浊水体。

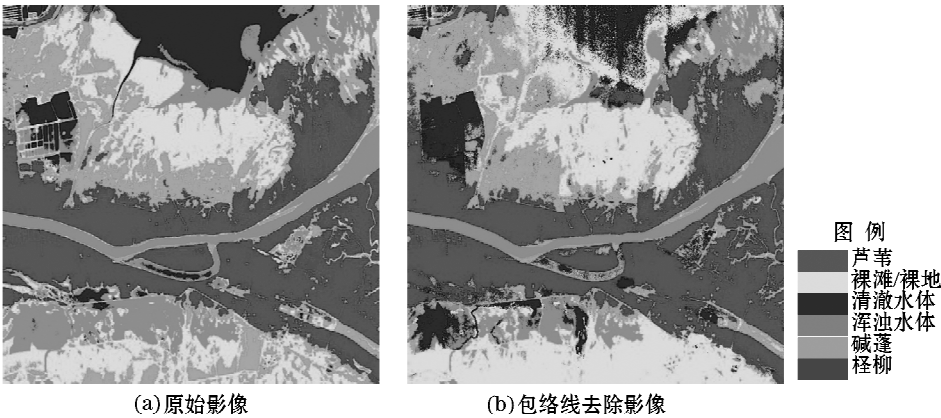


图 9 SID 算法分类结果
Fig. 9 SID classification results

包络线去除前、后 SID 算法分类精度见表 6。由表 6 可以发现,包络线去除后芦苇的生产者精度有明显提高,用户精度有明显降低;碱蓬和桤柳的生产者精度和用户精度均有所提高,但变化并不明显;桤柳的生产者精度无明显变化,而用户精度均有明显提高;清澈水体和裸滩/裸地的生产者精度和用户精度均有明显降低;浑浊水体的生产者精度无明显变化,而用户精度有明显降低;分类结果的总体分类精度和 Kappa 系数无明显变化。

表 6 包络线去除前、后 SID 算法分类精度比较

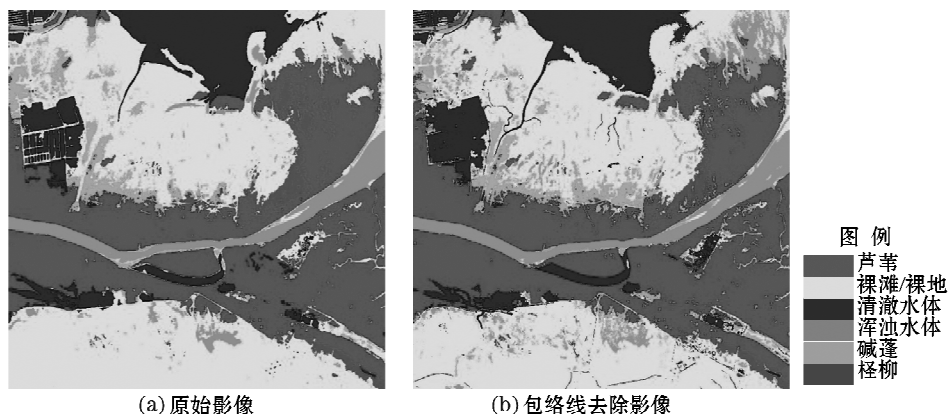
Table 6 SID classification accuracy comparison before and after continuum removal

分类精度		原始影像		包络线去除影像	
		生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%
典型 土地 覆盖 类型	芦 苇	61.39	94.61	78.64	90.36
	碱 蓬	73.55	3.44	74.64	4.50
	桤 柳	63.78	15.28	65.82	25.34
	清澈水体	59.35	96.56	45.11	80.88
	浑浊水体	76.01	23.79	78.67	19.69
	裸滩/裸地	51.34	85.17	41.31	77.48
总体分类精度/%		57.619 8		57.494 4	
Kappa 系数		0.460 9		0.449 8	

3.6 支持向量机(Support Vector Machine,SVM)

SVM 算法的分类结果如图 10 所示。图 10a 为包络线去除之前的原始影像分类结果,图 10b 为包络线去除之后的影像分类结果。

通过目视分析可以发现,包络线去除前后的影像分类结果均比较平整,碎斑较少。包络线去除前的影像分类结果,对于芦苇和清澈水体的分类比较准确,但是影像左上部有小片的裸滩/裸地被误分为碱蓬,影像下部有小片的裸滩/裸地被误分为浑浊水体,影像中部有部分裸滩/裸地被误分为芦苇;包络线去除以后的影像分类结果碎斑较多,对芦苇的分类比较准确,但是影像左上部仍有小片的裸滩/裸地被误分为碱蓬,影像右上部和下部有小片的裸滩/裸地被误分为浑浊水体,影像中部仍有部分裸滩/裸地被误分为芦苇。



(a)原始影像

(b)包络线去除影像

图 10 SVM 算法分类结果

Fig. 10 SVM classification results

包络线去除前、后 SVM 算法分类精度见表 7。由表 7 可以发现,包络线去除后芦苇的生产者精度和用户精度均无明显变化;碱蓬的生产者精度有明显提高,而用户精度无明显变化;桤柳的生产者精度有明显降低,而用户精度有明显提高;清澈水体和裸滩/裸地的生产者精度有明显降低,用户精度无明显变化;浑浊水体和生产者精度和用户精度有明显降低;分类结果的总体分类精度无明显变化,而 Kappa 系数下降明显。

表 7 包络线去除前、后 SVM 算法分类精度比较
Table 7 SVM classification accuracy comparison before and after continuum removal

分类精度		原始影像		包络线去除影像	
		生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%
典型 土地 覆盖 类型	芦 苇	85.78	89.10	86.51	88.12
	碱 蓬	49.30	10.21	54.65	9.37
	柾 柳	53.63	37.65	47.89	55.73
	清澈水体	75.70	92.17	72.43	91.18
	浑浊水体	85.78	89.10	78.94	52.48
	裸滩/裸地	86.22	87.30	81.53	86.73
总体分类精度/%		83.071 2		80.854 9	
Kappa 系数		0.751 0		0.720 9	

3.7 总体评价

综上所述,以上 6 种典型监督分类算法中,SVM 算法的分类精度最高,其他 5 种算法的分类精度均比较低;所有的分类结果中,均表现为芦苇的分类精度最高,而碱蓬、裸滩/裸地和浑浊水体的分类精度较低,其误分现象比较严重。

1)包络线去除变换以后,6 种算法中总体分类精度和 Kappa 系数均有较明显降低的是 BE 算法、MinD 算法、MahD 算法和 SVM 算法,无明显变化的是 SAM 算法和 SID 算法。总体来说,包络线去除方法在基于光谱特征空间的滨海湿地监督分类应用中并不能提高遥感影像的总体分类精度,原因是滨海湿地内部存在着大面积的裸滩/裸地和浑浊水体,这两种地物在影像上均具有面积大、过渡平缓、光谱曲线相对平直的特点,包络线去除变换后这些地物类型的光谱曲线仍旧相似,同时又忽略了原始图像的灰度值信息,使得分类算法针对以上两种地物类型的误分现象更加严重,从而导致分类精度降低。

2)包络线去除变换以后,6 种算法中芦苇、柾柳、碱蓬三种植被类型的分类精度有所提高的是 BE 算法、SID 算法和 SVM 算法,原因是在以上算法的分类过程中,包络线去除变换增大了植被与其他地物类型之间的特征差异,从而提高了以上算法对滨海湿地典型植被类型的区分和识别能力。

4 结 论

本研究使用包络线去除方法对黄河口滨海湿地的 PROBA CHRIS 高光谱遥感影像进行变换处理,分析变换前、后典型地物类型光谱曲线的特征变化情况,并采用 6 种常用的基于光谱特征空间的监督分类算法对变换前后的影像进行滨海湿地典型地物分类,比较评价包络线去除方法对各算法分类能力的影响。主要结论如下:

1)包络线去除方法能够提高部分基于光谱特征空间的监督分类算法对高光谱遥感影像滨海湿地典型植被类型的区分和识别能力。

2)滨海湿地高光谱遥感影像内部存在面积较大的裸滩/裸地和浑浊水体区域,而包络线去除方法并不能很好地解决所采用的监督分类算法中该类地物类型的误分问题,因此不能提高该类影像的总体分类精度。

3)由于所获取的与现场踏勘时间对应的高光谱遥感影像资源有限,本文仅对一景 CHRIS 影像进行分析。在进一步的研究中,将尝试包络线去除方法应用于光谱分辨率更高、波段更多的高光谱数据(Hyperion 高光谱遥感影像和现场光谱数据),针对更细致的分类体系(滨海湿地植被类型精细分类等方向)进行研究。

4)此外,滨海湿地卫星高光谱遥感影像中存在大面积的碱蓬、裸滩/裸地和浑浊水体等区域,其中碱蓬一

般比较稀疏,遥感影像在该范围采集的光谱实际为碱蓬和土壤的混合光谱,裸滩/裸地和浑浊水体为水和泥沙、土壤的混合光谱,以上 3 种地物在影像中均表现为混合像元的特性。在进一步的研究中,应尝试包络线去除方法与线性光谱分解方法进行结合,以解决高光谱遥感影像分类中混合像元的误分问题。

参考文献(References):

- [1] ZHANG B, GAO L R. Hyperspectral image classification and target detection[M]. Beijing: Science Press, 2011. 张兵, 高连如. 高光谱图像分类与目标探测[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [2] GOETZ A F H. Three decades of hyperspectral remote sensing of the earth: A personal view[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(supp. 1): 5-16.
- [3] TONG Q X, ZHANG B, ZHENG L F. Hyperspectral remote sensing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. 童庆禧, 张兵, 郑兰芬. 高光谱遥感——原理、技术与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [4] RODGER A, LAUKAMP C, HAEST M, et al. A simple quadratic method of absorption feature wavelength estimation in continuum removed spectra[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 118: 273-283.
- [5] YOUNGENTOB K N, ROBERTS D A, HIELD A A, et al. Mapping two eucalyptus subgenera using multiple endmember spectral mixture analysis and continuum-removed imaging spectrometry data[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115: 1115-1128.
- [6] GOMEZ C, LAGACHERIE P, COULOUMA G. Continuum removal versus PLSR method for clay and calcium carbonate content estimation from laboratory and airborne hyperspectral measurements[J]. Geoderma, 2008, 148: 141-148.
- [7] SKIDMORE A K, PRINS H H T, VAN DER MEER F D, et al. Continuum removed band depth analysis for detecting the effects of natural gas, methane and ethane on maize reflectance[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 105: 262-270.
- [8] BAI J W, ZHAO Y C, ZHANG B, et al. Study on the classification methods of the hyperspectral image based on the continuum removed[J]. Computer Engineering and Application, 2003, 38 (13): 88-100. 白继伟, 赵永超, 张兵, 等. 基于包络线消除的高光谱图像分类方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2003, 38 (13): 88-100.
- [9] DING L X, WANG Z H, GE H L. Continuum removal based hyperspectral characteristic analysis of leaves of different tree species[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(6): 809-81. 丁丽霞, 王志辉, 葛宏立. 基于包络线法的不同树种叶片高光谱特征分析[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(6): 809-81.
- [10] FAN L, ZHAO W J, GONG Z N, et al. Correspondence analysis of rock spectra based on continuum removing[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42 (2): 575-582. 樊磊, 赵文吉, 宫兆宁, 等. 基于包络线消除法的岩石光谱对应分析[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42 (2): 575-582.
- [11] ZHAO Z, LI X, YIN Y B, et al. Analysis of spectral features based on water content of desert vegetation[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(9): 2500-2503. 赵钊, 李霞, 尹业彪, 等. 荒漠植物含水量的光谱特征分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(9): 2500-2503.
- [12] LIU L J, PANG Y, FAN W Y, et al. Integration of airborne hyperspectral CASI and SASI data for tree species mapping in the boreal forest, China[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(2): 129-136. 刘丽娟, 庞勇, 范文义, 等. 整合机载 CASI 和 SASI 高光谱数据的北方森林树种填图研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 129-136.
- [13] CAO B, TAN B X. Characteristics and preprocessing of multi-angle hyperspectral CHRIS data[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(22): 12289-12294. 曹斌, 谭炳香. 多角度高光谱 CHRIS 数据特点及预处理研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(22): 12289-12294.
- [14] BARNSIEY M J, SETTLE J J, CUTTER M A, et al. The PROBA/CHRIS mission: A low-cost smallsat for hyperspectral multiangle observations of the Earth surface and atmosphere[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(7): 1512-1520.
- [15] EUROPEAN SPACE AGENCY. Online Archives[EB/OL]. [2013-02-10]. <http://earth.esa.int/web/guest/data-access/online-archives>.
- [16] DENG S B. ENVI remote sensing image[M]. Beijing: Science Press, 2010. 邓书斌. ENVI 遥感图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

Validity Evaluation of Continuum Removal in the Supervised Classification Based on Spectral Feature Space

WANG Xiao-peng^{1,2,3}, ZHANG Jie^{1,3}, REN Guang-bo³, MA Yi³

(1. *Dalian Maritime University*, Dalian 116026, China; 2. *Qingdao University*, Qingdao 266071, China;

3. *The First Institute of Oceanography*, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: The continuum removal method was applied on the PROBA CHRIS hyperspectral remote sensing image of the coastal wetland in the Yellow River Estuary. Six classical supervised classification methods were implemented on the image before and after the continuum removal transformation for the land cover classification, and then the classification results were compared by artificial interpretation and quantitative analysis. The aim of this research is to evaluate the effect of the continuum removal transformation on the supervised classification. Experimental results show that, the continuum removal transformation is capable of improving the classification ability of certain supervised classification algorithms in the coastal wetlands classification by hyperspectral images. But the continuum removal method cannot solve the issue of misclassification between the bare beach and turbid water, which generally co-exist in the coastal wetlands and share the similar characteristics. Therefore it could not improve the overall classification accuracy of the supervised classification methods on CHRIS hyperspectral images.

Key words: CHRIS; continuum removal; coastal wetland; classification

Received: February 10, 2013