林业科学研究 2011,24(3):300～306
Forest Research

文章编号:1001-1498(2011)03-0300-07

基于高光谱影像融合的湿地植被类型信息提取技术研究

韦 玮, 李增元*

(中国林业科学研究院资源信息研究所,北京 100091)

摘要:对 -36°和0°的多角度高光谱 CHRIS 遥感影像数据进行植被指数计算及影像融合,提出归一化植被指数(NDVI)与高光谱影像融合后,采用波谱角填图(SAM)的方法提取湿地植被类型信息。该方法首先对 -36°影像进行 NDVI 植被指数计算,然后与0°影像融合,再采用 SAM 方法提取湿地植被类型。结果显示,利用该方法对青海省隆宝滩湿地植被类型的提取精度可达到92.23%;而利用 SAM 方法对0°影像直接进行湿地植被类型提取,其精度只有66%。由此可见,利用不同角度信息影像融合的方法,大大提高了高光谱影像进行湿地植被类型信息提取的精度,为湿地植被类型信息提取又提供了一个有效可行的方法。

关键词:遥感; 高光谱; 多角度; 植被指数; 融合; 湿地; 光谱角填图

中图分类号:S771.8 **文献标识码**:A

A Study on Extracting Vegetation Information from the Hyperspectral Fusion Images of CHRIS/PROBA

WEI Wei[1], *LI Zeng-yuan*

(Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Based on Gram-Schmidt transformation and fusion method, the paper provides a improved method of extracting wetland vegetation information in Long Baotan area in Qinghai Province from the hyperspectral fusion image. Firstly to caculate the NDVI of -36° image, and to fuse with 0° image. Then, the Spectral Angle Mapper, SAM, a supervised classification method was carried out on the new fusion image. The result showed that the extraction accuracy of the vegetaion information approach to 92.23%, while it was only 66% if the SAM was used directly to the 0° CHRIS image. The result also indicated that multi-angle and hyperspectral remotely sensed data had important application potentiality in extraction of wetland vegetation information.

Key words: remote sensing; hyperspectral; multi-angle; vegetation index; fusion; wetland; SAM

绿色植物具有明显的光谱反射特征,而这种特征与植被的发育、健康状况以及生长条件密切相关。传统的宽波段、多光谱遥感数据对于植被的研究仅限于一般性的红光吸收特征和近红外的反射特征[1-3],以及中红外的水吸收特征[4-6]。高光谱遥感通过对不同类型植被的生物物理化学成分含量的估算能获得较为理想的植被生态学信息,并在提取植被信息中得到大量的应用和研究[7-10]。高光谱遥感器的出现为改进现有的分类算法,进一步提高植被分类精度提供了可能。高光谱遥感技术已经应用于湿地分类、边界、水体、湿地植被和湿地生境因子等遥感信息提取中[11-13],但利用高光谱影像数据

收稿日期: 2011-01-10
基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金"(IFRIT200906)"
作者简介: 韦 玮(1972—),女,湖北武汉人,博士生,研究方向:高光谱遥感,E-mail:weiwei@caf.ac.cn.
*通讯作者: E-mail:lizy@caf.ac.cn

的多角度信息进行湿地植被类型划分的研究还较少。本文获取了青海省隆宝滩湿地区域的 5 个不同角度的高光谱 CHRIS 遥感影像,利用 CHRIS 影像的不同角度信息,采用影像融合及植被波谱匹配等手段,提取该区域湿地植被类型,获得了较好的结果。

1　数据获取及预处理

1.1　遥感数据源

CHRIS/PROBA 是可以同时获取高光谱和多角度数据的星载传感器。本文采用 2010 年 8 月 27 日获取的青海玉树隆宝滩湿地区域的多角度高光谱 CHRIS 影像数据,分别从 -55°、-36°、0°、+36°、+55°共 5 个角度进行成像,获取影像的中心点坐标为 33°12′27″N; 96°31′21″E,海拔为 4 219 m。该套影像的光谱范围为可见光至近红外(0.4 ~ 1.075 μm),共有 62 个波段,光谱分辨率为 6.5 ~ 20.4 nm;扫描带宽为 13 km,空间分辨率为 34 m。

1.2　地面数据采集

2010 年 8 月 9—12 日,地面调查小组在隆宝滩湿地进行了野外调查。采用美国 ASD 公司生产的 ViewSpec (325 ~ 2 500 nm)型光谱辐射计,对隆宝滩地区主要湿地植被和沼泽区典型湿地植被进行了波谱测量。其光谱采样间隔约为 1 nm,波长范围为 325 ~ 2 500 nm,光谱分辨率为 3 nm@700 nm。

隆宝滩湿地区域东西长约 25 km,是一个狭长的山间盆地,四周高山环抱,海拔 4 100 ~ 5 500 m。主要由水生、沼生和湿生的植物为优势种群形成丰富的湿地植被。光谱测量主要获取了草本沼泽湿地典型植被、沼泽化草甸优势植物的光谱辐射。草本沼泽的典型植被种类有华扁穗草(*Blysmus sinocompressus* Tang et Wang)、斑唇马先蒿(*Pedicularis longiflora* var. *tubiformis* (Klotz.) Tcoong)、嵩草(*Kobresia myosuroides* (Villars) Foiri)等。在草本沼泽的周围形成了沼泽化草甸,由于水湿条件的逐渐减弱,向山脚逐渐过度到高山草地。根据不同植物的优势形成了不同的优势植被草甸区域,有苔草(*Carex stenophyloides* Krecz.; *C. enervis* C. A. Mey.; *C. microglochin*)草甸、针茅(*Stipa capillata* Linn.)草甸以及高山嵩草 - 苔草草甸等。

调查期间,共获取了湿地植被不同形态、不同生长条件下的高光谱数据 80 组,每组高光谱数据有 30 次光谱重复。表 1 是本次调查隆宝滩湿地主要植被类型。

表 1　隆宝滩湿地主要植被类型

主要湿地植被区域	主要植物组成
草本沼泽区	华扁穗 - 藏嵩草沼泽,水边伴生苔草,塔头顶端主要是矮嵩草
	藏嵩草 - 斑唇马苋蒿沼泽,水边伴生华扁穗、少量苔草
沼泽化草甸区	华扁穗沼泽化草甸,伴生矮嵩草、小嵩草、藏嵩草等
	藏嵩草沼泽化草甸,伴生水茅根、斑唇马先蒿、垂头菊、苔草等
高山草甸区	苔草草甸,伴生植物主要是小嵩草
	针茅草甸,伴生苔草、西伯利亚蓼、垂穗披碱草、鹅绒委凌菜等
	小嵩草草甸,伴生苔草、针茅、二裂委凌菜等

1.3　遥感数据预处理

获取的原始 CHRIS 影像存在条带噪声,需要进行大气校正和几何校正。采用欧空局提供的 HDF-clean 软件去除 CHRIS 图像的噪声,主要是对图像进行缺失像元填充和条带去除。然后采用 ENVI 软件中的 FLAASH 模块对影像进行大气校正,大气校正时所需要的卫星及影像参数、光谱标定信息均可以从 CHRIS 影像的头文件中获取。最后利用地面控制点(GCP)数据对原始图像的几何畸变过程进行数字模拟,建立原始畸变图像空间与制图用坐标空间之间的某种对应关系,再利用这种对应关系把畸变空间中的全部元素变换到校正图像中进行 CHRIS 影像的几何校正,几何校正后的 CHRIS 高光谱影像每个像元点都带有坐标值。

由于 -55°、+36°和 +55°的影像分别都存在较为严重的图像畸变,并且影像画面模糊不清,因此本文只选择了 0°和 -36°影像进行湿地植被类型提取的方法研究。影像经过大气纠正后,光谱曲线更符合植被的光谱特性,获得了较为真实的地面反射率数据。为了方便研究以及提高植被分类的准确性,去除了 CRHIS 影像上的云区和阴影覆盖区,截取影像效果较好的部分作为研究区域,如图 1 所示。

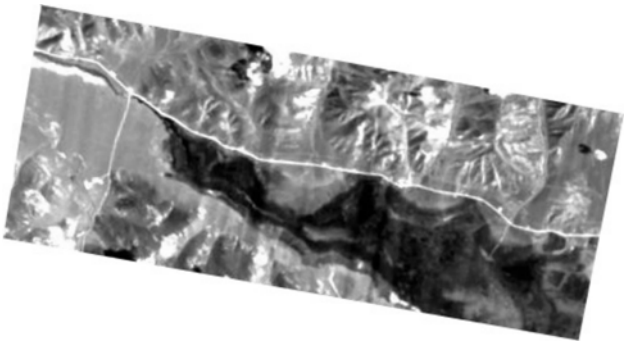

图 1　校正后的隆宝滩湿地研究区影像

2 湿地植被光谱特征及光谱库的建立

2.1 湿地植被光谱特征

植被反射光谱曲线主要由叶面所含叶绿素、水分、氮等其他生物化学成分对光谱的吸收形成的,所以不同种类的植被有明显不同的光谱特征,据此可以通过光谱特征将不同植被信息区分。在外业调查中,选取不同植被类型的典型植被进行了光谱测量,如藏嵩草(*Kobresia schoenoides* Steud. Syn. Cyperac)、水毛茛(*Batrachium bungei* (Steud.) L. Liou)、华扁穗、苔草、针茅、斑唇马苋蒿、褐毛垂头菊(*Cremanthodium brunneo - pilosum* S. N. Liu)、西伯利亚蓼(*Polygonum sibiricum* Laxmann)、垂穗披碱草(*Elymus nutans* Griseb.)等,以及它们在不同生境中生长时的花、根、叶等不同部位的光谱。

光谱仪在采集光谱时会受到许多因素的干扰,如光照条件、光谱仪与目标物的距离、光谱仪测量角度、周边环境等诸多因素。为了使测量数据尽量接近真实的植被光谱反射特征,测量时选择的测试环境条件为:晴天、空气湿度小、微风,平均气温为13℃;光谱测试时间为10:00—14:30之间。将测得的80组不同的光谱辐射值,经过整理、比较、分组和匹配后,提出了湿地典型植被的光谱反射率曲线,图2是一些植被的光谱曲线图。

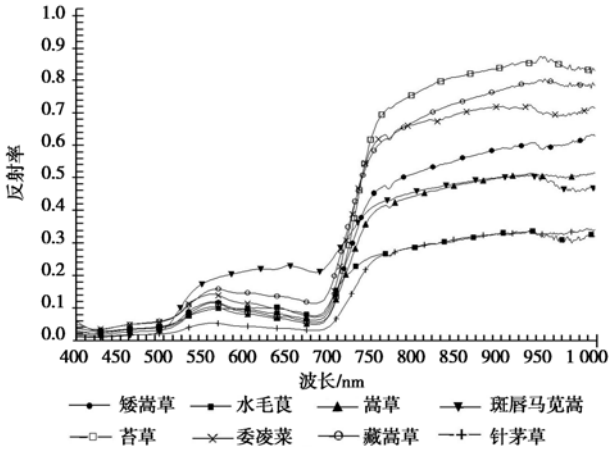

图2 湿地植被的光谱曲线

2.2 建立典型湿地植被光谱库

将野外测量所得到的隆宝滩地区湿地植被的光谱曲线,经过ViewSpecPro软件的处理,进行反射率计算,并添加植被名称标识后,再应用ENVI软件中的建立光谱库模块,构建了隆宝滩区域典型湿地植被的光谱库。

在该光谱库中,将野外测量所得的湿地植被光谱曲线重采样,取波长范围为400~1 075 nm的曲线绘制成图,该光谱库应用于湿地植被类型的信息提取。

3 湿地植被类型的信息提取

3.1 分类方法

波谱角填图(SAM)方法是一个基于自身波谱的分类方法,它是在n维空间将像元与参照波谱进行匹配,通过计算波谱间的角度,判定两个波谱间的相似度[14]。本文对隆宝滩地区0°的CHRIS影像进行了波谱角分类。分类过程中导入上述构建的隆宝滩湿地植被光谱库的数据,对所有类别使用同一个阈值,输入的弧度值为0.1弧度,这是端元波谱矢量与像元矢量之间的最大可接收的角度,角度大于该值的像元将不被分入该类,符合所选阈值标准的区域将被作为已分类区域输入到分类后的图像中。植被类型的提取结果如图3所示。

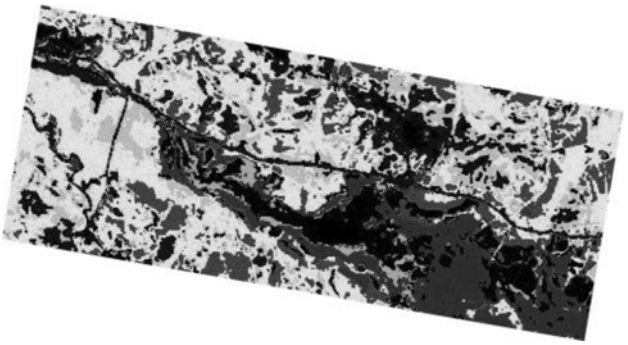

图3 SAM对0°的CHRIS影像中植被类型的分类结果

利用遥感软件的精度评估工具,采用分层随机产生2 035个样点,采用混淆矩阵对该植被类型提取结果进行评价,其提取精度为65.99%。得到的植被类型提取结果评价报告,如表2所示。

根据分类精度评价混淆矩阵的结果显示,用SAM方法直接对0°影像进行湿地植被类型信息提取,其精度较低。从分类结果图上看出,沼泽地区和沼泽化草甸区域有混分和误分情况存在。这是由于原始的影像经过大气校正和几何校正后,虽然较为真实的获得了地面植被的光谱反射率,但是由于传感器本身的永久性误差、天气、光照条件、水汽、地面植被混杂生长等因素的影响,使得同类植被在不同的区域,其光谱辐射有较大的差别,在角度匹配时,有可能被错分。为了消除上述的误分现象,提高SAM对高光谱影像中湿地植被类型的提取精度,本

表 2　SAM 对 0°影像的植被类型提取精度评价

项目	小嵩草草甸	马先蒿沼泽	华扁穗沼泽化草甸	苔草草甸	华扁穗沼泽	针茅草甸	藏嵩草沼泽	总和
小嵩草草甸	321	22	18	55	0	76	2	494
马先蒿沼泽	0	212	96	21	56	0	83	468
华扁穗沼泽化草甸	4	0	171	6	18	0	25	224
苔草草甸	37	0	0	104	0	15	0	156
华扁穗沼泽	0	21	10	0	98	0	8	137
针茅草甸	20	0	0	43	0	351	0	414
藏嵩草沼泽	0	29	11	0	16	0	86	142
总和	382	284	306	229	188	442	204	2 035
总体分类精度 = 65.995 1% ;总 Kappa 系数 = 0.654 1								

文提出了“基于植被指数与高光谱影像融合的波谱角分类”方法,这种方法利用不同角度的影像信息进行植被指数计算及影像融合,再运用 SAM 方法进行植被类型信息提取。

3.2　基于植被指数的影像融合

基于植被指数与高光谱影像融合的波谱角分类方法,首先将 -36°的 CHRIS 影像进行植被指数计算,将计算后的影像与 0°影像进行融合。本文计算了 -36°影像的归一化植被指数(NDVI)、增强型植被指数(EVI)、红边归一化植被指数(RENDVI)及绿度指数(SGI),然后将这 4 种植被指数的影像分别与 0°影像进行融合。如图 4 所示,0°影像分别与 -36°影像的归一化植被指数(NDVI)和红边归一化植被指数(RENDVI)影像融合后,沼泽区植被波谱曲线在 NDVI 融合影像上较为规则,符合植被曲线特征。

0°影像与 -36°影像的增强型植被指数(EVI)融合后,植被波谱曲线较规则。但就影像视觉效果比较,NDVI 融合影像的视觉特征更为明显,地物轮廓更为突出,如图 5 所示。

0°影像与 -36°影像的绿度指数(SGI)相融合后,影像中心区域的波谱曲线较为规则,接近植被波谱特征,但在 SGI 融合影像的边缘,植被波谱曲线出现异常,无法正确反映边缘区域的植被波谱反射;而 NDVI 融合影像的边缘,具有正确的植被波谱曲线特征,如图 6 所示。

由图 4 ~ 6 的比较,可以看出 0°影像与 -36°影像的 NDVI 融合后,其光谱特征更接近植被波谱特征,其影像视觉效果特征更明显,其影像边缘的植被波谱特征保持不变,因此,0°影像与 -36°影像的 NDVI 融合影像比其它 3 种融合效果更好,本文选择了 NDVI 融合影像进行湿地植被类型信息提取。

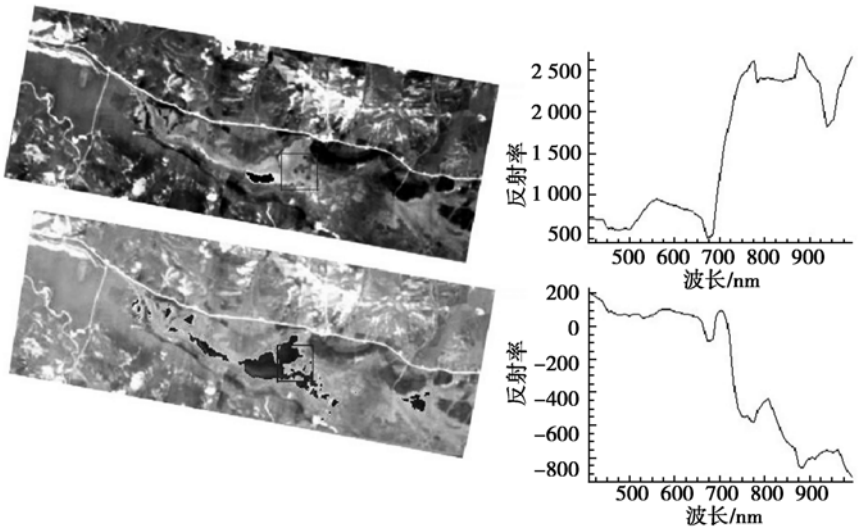

图 4　0°影像与 -36°影像的 NDVI 融合(上)和 RENDVI 融合(下)沼泽区植被波谱曲线比较

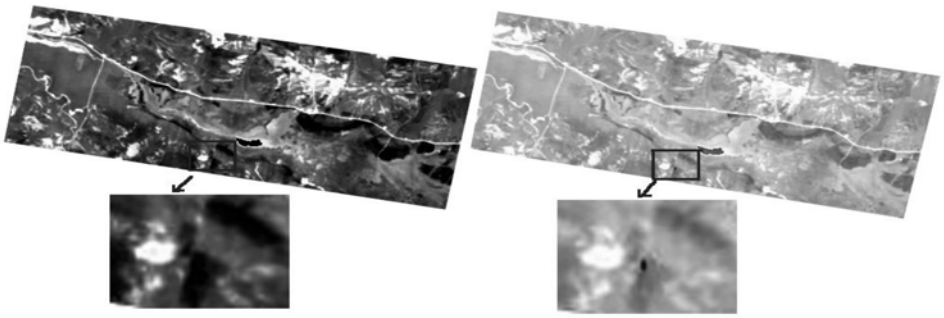

图5 0°影像与-36°影像的NDVI融合(左)和EVI融合(右)后高山草甸区影像比较

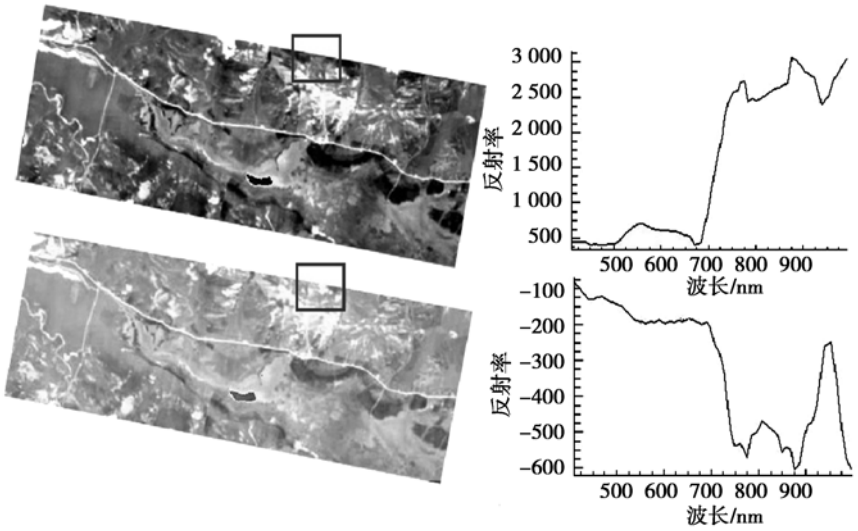

图6 0°影像与-36°影像的NDVI融合(上)和SGI融合(下)影像边缘植被光谱比较

归一化植被指数(NDVI)是可见光红外和近红外两波段的归一化比值,它既能够反映植被光合作用的有效辐射吸收情况,又能够反映作物长势、叶面积指数等,是目前应用最为广泛的植被指数。NDVI值指示着像元中绿色植被的数量,较高的NDVI值预示着包含较多的绿色植被。NDVI的标准算法为:

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red) \quad (1)$$

对于本文应用的-36°CHRIS影像,其NDVI计算公式为:

$$NDVI_{-36°} = (CHRIS_{40} - CHRIS_{22})/(CHRIS_{40} + CHRIS_{22}) \quad (2)$$

其中:$CHRIS_{40}$是-36°影像的第40波段,为近红外波段(0.768 μm);$CHRIS_{22}$是-36°影像的第22波段,为红光波段(0.64 μm)。计算后的CHRIS影像的每一个波段都是一个单独的图像波段,显示了植被的分布。

NDVI融合影像与0°影像比较,地物轮廓更为清晰,植被信息更加突出,从光谱曲线上看,沼泽植被的光谱曲线更加准确圆滑,如图7所示,影像融合前后波谱曲线有所变化,其中,植被1和植被3都是沼泽区域的植被,植被2是高山草甸区域的植被,这些植被光谱在融合后的影像上,其光谱曲线更规则,更接近植被的特征。

4 SAM提取湿地植被类型

选择了-36°影像的NDVI与0°影像融合的结果图进行湿地植被类型的提取。采用波谱角填图的方法将N个波段的光谱响应作为N维空间的矢量,通过计算它与最终光谱单元的光谱之间的夹角来表征其匹配程度:夹角越小,相似度越好[15]。两矢量夹角用反余弦表示为[16]:$\theta = \arccos(T \cdot R)/(|T||R|)$,式中,$\theta$值越小,$T$和$R$的相似性越大。在用实验测量光谱与图像光谱比较时,将测量光谱按照图像光谱的波长进行重采样,使得两个光谱具有相同的维数。本文使用的CHRIS多角度高光谱影像的波长范围在0.4~1.075 μm之间,因此,将测

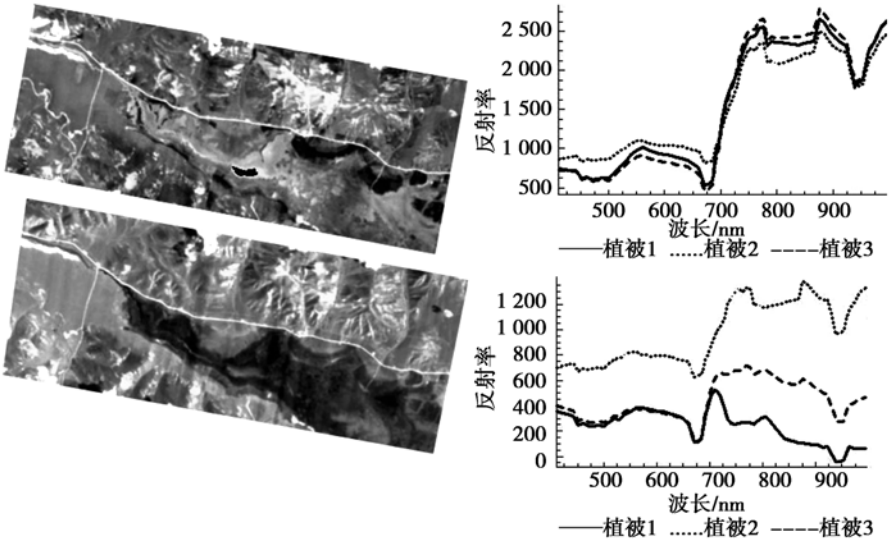

图 7　0°与 -36°影像的 NDVI 融合(上)和 0°影像(下)的植被光谱曲线比较

量所得的植被光谱反射的波段区间按照影像的波段区间进行了重采样。θ 值与光谱向量的模是无关的,也就是与图像的增益系数无关。为了便于比较,对融合后影像的 SAM 植被信息提取依然采用对所有类别使用同一个阈值,输入的弧度值为 0.1 弧度。

匹配计算完成后对分类精度进行了评价。光谱仪在采集光谱的同时对采集目标进行了实地拍照,并用 GPS 定位仪记录了采集地点的经纬度。结合遥感影像上像元点的波谱曲线与目视解译在图上选取出参考样本数据,而后生成混淆矩阵,计算出了总体精度和 Kappa 系数,得到精度评价报告,见表 3。

表 3　湿地植被类型提取结果评价报告

项目	小嵩草草甸	马先蒿沼泽	华扁穗沼泽化草甸	苔草草甸	华扁穗沼泽	针茅草甸	藏嵩草沼泽	总和
小嵩草草甸	138	0	0	2	0	9	0	149
马先蒿沼泽	0	164	0	0	10	0	3	177
华扁穗沼泽化草甸	2	0	62	3	0	0	0	67
苔草草甸	10	0	0	44	0	0	0	54
华扁穗沼泽	0	8	0	0	87	0	2	97
针茅草甸	3	0	0	5	0	189	0	197
藏嵩草沼泽	0	5	0	0	0	0	52	57
总和	153	177	62	54	97	198	57	798
总体分类精度 = 92.23%;总 Kappa 系数 = 0.920 4								

由表 3 可见,采用 SAM 方法对 NDVI 与 0°影像融合后的影像进行植被信息提取,其精度达到 92.23%,比直接提取 0°影像植被信息的精度大大提高。将提取结果进行矢量化,根据矢量划分出不同湿地植被类型,并制作了湿地植被类型分布图,如图 8 所示。

5　结论与讨论

本文研究了基于高光谱遥感数据融合,并用 SAM 方法对湿地植被类型信息进行提取的方法与步骤。比较关键的是选择所需植被指数的种类,以及融合后影像的选择和确定。其次是构建波谱库的植被种类选择及植被光谱辐射的计算和处理。外业光谱采集时,为减少干扰因素,对同一目标在不同光照条件、距离、采集角度、地点等进行多次采样,而后对植被光谱进行分类并选取出不同种类植被的参考光谱构建成光谱库。影像经过融合后,光谱曲线更加接近参考光谱,在进行 SAM 匹配提取出植被信息,经过与实地调查资料比较并得到较高的总体精度(92.23%)和 kappa 系数(0.920 4),将分类结果转为矢量数据,导入 ARCGIS 进行坐标转换,最后制作出隆宝滩湿地植被类型分布图。

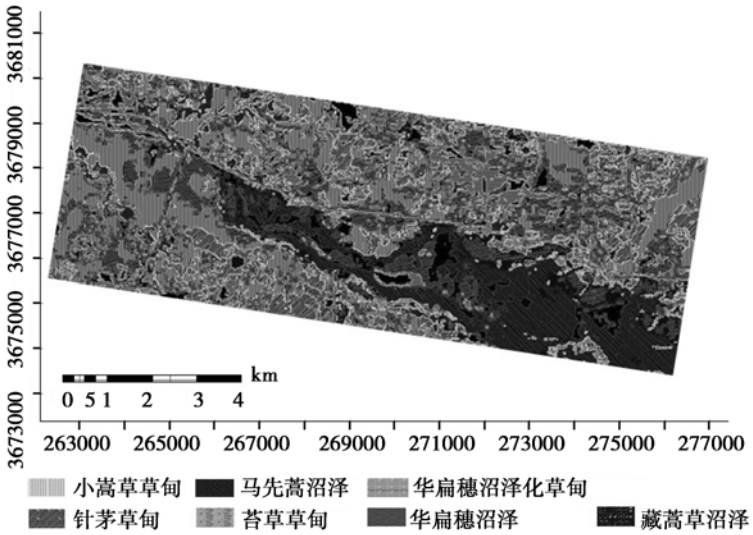

图8 隆宝滩湿地植被类型分布图

在研究中发现,通过植被指数影像与高光谱影像融合后,可以大大提高遥感影像阴影区下的植被信息提取精度,部分阴影区的植被信息被准确提出。因此,可以通过对植被指数计算方法的改进,以及不同影像融合技术的提高,来进一步提高阴影区域、混合区域、复杂地形区域下植被信息的提取精度。

鉴于高光谱遥感数据中多角度信息的研究和使用较少,本文尝试了采用 -36°的高光谱 CHRIS 影像进行植被指数的计算,并与0°的 CHRIS 影像进行融合,并取得了较好的融合效果。由此,可以尝试用不同角度的影像进行植被指数的计算和影像的融合,以期选择出更加清晰、光谱更加接近植被特征的融合影像,来用于不同的分类方法,达到植被精细分类的程度。由此可见,多角度信息的使用、波段组合、影像融合等遥感技术的发展在湿地植被信息提取研究中具有良好的应用前景。

参考文献:

[1] Horler D N H, Dockray M, Barber J. The red edge of plant leaf reflectance[J]. International Journal of Remote Sensing, 1983, 4:273 -288

[2] Ustin S L, Roberts D A, Green R O, *et al*. Remote sensing methods monitor natural resources[J]. Photonics Spectra, 1999, 33: 108 -113

[3] 江樟焰. 基于红光、近红外反射率的遥感光谱植被指数的线性性好土壤背景影像分析[D]. 北京:北京师范大学,2006

[4] Baret F, Jacquermoud S, Guyot G, *et al*. Modeled analysis of the biophysical nature of spectral shifts and comparison with information content of broad bands[J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 41:133 -142

[5] Broge N H, Leblanch E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 76(2):156 -172

[6] Penuelas J, Pinol J, Ogaya R R, *et al*. Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970)[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18:2869 -2875

[7] Sagalovich V N, Falkov E Y, Tsareva T I. Estimation of chlorophyll content in plant leaves and canopy from hyperspectral vegetation indexes[J]. Issledovanie Zemliiz Kosmosa, 2002(6):81 -85

[8] Sagalovich V N, Falkov E Y, Tzareva T I. Estimation of water content in vegetation from hyperspectral vegetation indices[J]. Issledovanie Zemliiz Kosmosa, 2004(1):63 -67

[9] Kempeneers P, Backer S De, Coppin P, *et al*. Generic wavelet + based hyperspectral classification applied to vegetation stress detection[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43(3):610 -614

[10] 廖 克,成夕芳,吴健生. 高分辨率卫星遥感影像在土地利用变化动态监测中的应用[J]. 测绘科学,2006,31(6):53 -56

[11] 牛明香,赵庚星. 南四湖区湿地信息遥感提取技术研究[J]. 国土与自然资源研究,2004(1):51 -53

[12] Fung G, Mangasarian O L. Proximal support vector machine classifiers[C]// Lee D, Provost F, Srikant R. Proceedings of the KDD -2001: Knowledge Discovery and Data Mining, New York: ACM Press, 2001:77 -86

[13] 张志锋,赵文吉,贾 萍,等. 北京湿地分析与监测[J]. 地球信息科学, 2004,6(1):53 -57

[14] 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

[15] Kruse F A, Kierein-Young K S, Boardman J W. Mineral mapping at Cuprite. Nevada with a 63 channel imaging spectrometer. [J] Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1990, 56: 83 -92

[16] 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