

基于改进支持向量机的盐碱地信息精确提取方法研究

徐存东^{1,2,3}, 张锐^{1*}, 王荣荣¹, 程慧¹, 刘璐瑶¹, 王燕¹, 朱兴林¹

(1. 华北水利水电大学, 郑州 450045; 2. 水资源高效利用与保障工程河南省协同创新中心, 郑州 450045; 3. 河南省水工结构安全工程技术研究中心, 郑州 450046)

摘要:【目的】探索无人机遥感下可以精确提取盐碱地信息的方法。【方法】以甘肃省景泰川电力提灌灌区一期灌区为研究区,采用 Trimble UX5 固定机翼无人机采集研究区遥感数据,提出了一种基于 AdaBoost 算法的改进支持向量机(SVM)分类的新方法,以实现盐碱地信息的精确提取。【结果】与传统 SVM 分类相比,改进 SVM 分类精度提升显著,总精度最高达 96.55%,Kappa 系数为 0.957 3。改进前后不同类型盐碱地提取面积与实测面积相比,最大误差为 5.4%,平均误差为 2.16%。【结论】该文提出的基于改进支持向量机分类方法可有效提高遥感影像的分类精度。

关键词:高空无人机;盐碱地;AdaBoost;支持向量机;景电灌区

中图分类号: P237;K903

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180091

徐存东,张锐,王荣荣,等.基于改进支持向量机的盐碱地信息精确提取方法研究[J].灌溉排水学报,2018,37(9):62-68.

0 引言

我国西北等地区大力发展提水灌溉工程,以实现对于干旱半干旱区域土地资源的有效开发。然而,随着提水工程的不断运行,诱发了区域大面积的水盐重组、运移和积聚^[1-2]。特定的气候条件加上高强度的人类活动,致使区域的水盐动态呈现独特的态势,地下水位不断抬升,进而诱发了大面积的土壤盐渍化^[3-4]。近年来,无人机遥感以其特有的优势成为多个领域应用的热点^[5-8],鉴于高分辨率的无人机遥感影像能够清晰地反映各地物间的细微差异,使遥感定量分析成为可能。相关研究中,利用无人机传感系统划分出香蕉种植园的空间格局,将植被指数 *NDVI* 与果实质量和产量建立联系,调查影响生产潜在因素的空间模式,从而提高农业生产效率^[9];提出了一种有效的无人机路径规划算法收集实时红外图像对火情进行监测^[10];从时间序列影像中获取了植被指数阈值方法,对于空间尺度下提取植被覆盖度提供依据^[11];通过比较正常、倒伏玉米的色彩、纹理特征,选出最优区分的 3 项纹理特征,显著提升了对于倒伏玉米面积提取的精度^[12];构建了一种综合红、绿、蓝 3 波段归一化植被指数 *VDVI* 对健康绿色植被信息提取,其精度明显高于其他波段植被指数^[13];构建的支持向量机组合决策树分类法的决策模型用于提取灌区土地利用类型^[14];以无人机航拍得到的数字高程数据 *DEM* 为基础,通过改进霍夫变换,实现对渠系网络的精确提取^[15]。虽然国内外学者在无人机遥感定量监测方面取得了丰硕成果,但目前对于无人机遥感数据应用于盐碱地识别和监测的研究较少。传统支持向量机分类方法仅仅依赖于单一参数的选择,针对不同地物分类难以调适至最佳分类效果,为此,在传统支持向量机分类基础上进行改进,将 AdaBoost 算法引入支持向量机中,在迭代算法下寻求最佳核参数,从而实现对甘肃省景泰川电力提灌灌区(以下称“景电灌区”)的一期灌区盐碱地进行精确提取,以期灌区土壤盐渍化治理和调控提供一定宏观指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

景电灌区地处我国西北干旱荒漠区(东经 103°20′—104°04′,北纬 37°26′—38°41′),北倚腾格里沙漠,南

收稿日期:2018-02-01

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51579102,31360204);河南省科技厅科技创新人才支持计划项目(174200510020)

作者简介:徐存东(1972-),男,甘肃景泰人。教授,博士生导师,博士,主要从事灌区水盐调控方面的研究。E-mail: xcundong@126.com

通信作者:张锐(1992-),男,甘肃静宁人。硕士研究生,主要从事水利工程方面的研究。E-mail: zruijust@126.com.

靠祁连山脉东端,东临黄河,是连接甘、宁、内蒙古三省的交界地带。灌区建成于20世纪70年代初,分2期建成,一期于1971年投入使用,二期于1987年开始提水灌溉。灌区多年平均降雨量为185.6 mm,多年平均蒸发量2 365.92 mm,属于典型的低降雨高蒸发流域,常年风沙大,干旱缺水。干旱的气候条件、低平封闭的地形、土壤母质含盐量高和不合理的耕作、灌溉、施肥措施等是灌区大面积土壤盐渍化的主要原因^[16],尤其是在封闭型水文地质单元盐渍化更为明显。目前,灌区的土壤盐渍化面积呈现出不断增加的趋势,盐渍化程度不断加剧。土壤盐渍化已严重制约了景电灌区等扬水灌区水土资源可持续利用和农业生产的可持续发展。

1.2 UAV数据获取与整理

数据于2017年4月25—26日在景电灌区由北京麦格天测科技发展有限公司生产的Trimble UX5固定机翼无人机遥感试验测得,采用弹射方式起飞,该机翼展达1 m,起飞质量2.5 kg,机翼面积0.34 m²,飞行高度500 m;搭载2 400万像素的SONY ILCE-5100相机,并配备影像传感器。无人机配有Trimble Access™航空影像应用程序,起飞前先进行研究区飞行架次划分,起降点选择,风速选择,飞机按“蛇”字形航线在每个架次内连续航拍,镜头垂直航拍,完整覆盖整个区域,采集精度15 cm。无人机每个架次内拍摄200~350张分辨率6 000×4 000的照片。

航空影像采用UASMaster进行快速拼接,利用POS数据完成数据定向及点云提取,然后通过地面控制点GCP数据进行点云数据的几何校正及地理信息配准,最终建立立体建模、赋予纹理,获取符合拼接结果真彩色图像见图1(a),通过目视分析原始影像和地面调查的数据,确定无人机遥感影像获取的土壤盐渍化较为严重区域的图像。感兴趣区域见图1(b)和图1(c),图像分辨率为0.15 m,图像储存为红绿蓝3种色彩的灰度信息。

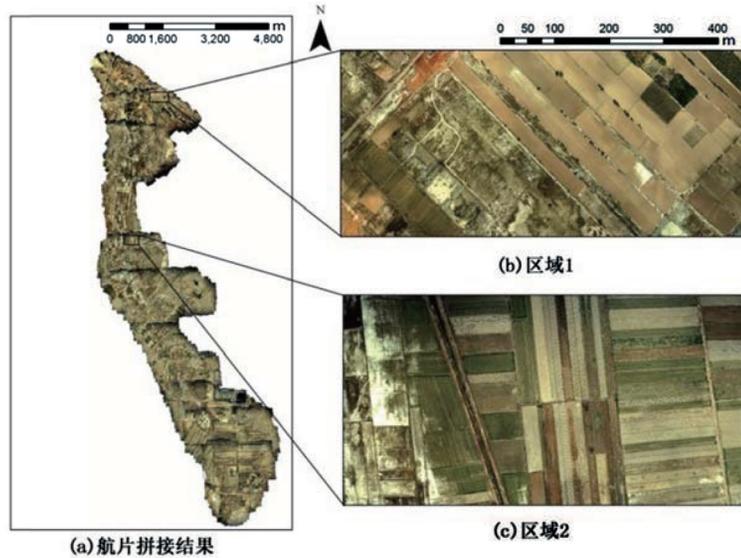


图1 感兴趣区域选择

1.3 改进支持向量机算法

支持向量机分类(support vector machine classification)是一种建立在统计学习理论基础上的机器学习方法^[17-19]。其优势是能自助寻找有较大区分能力的支持向量,构造出相应的分类器,将各类之间间隔最大化。其核心思想是把非线性可分样本数据映射到高维线性空间中,进而在核空间中创建一个最优分类超平面,将分类问题转化为凸二次规划问题,进而引入了核函数,综合经验风险和置信范围,找出判决函数使其期望风险上界达到最小^[20]。

采用AdaBoost算法^[21-22],其基本思路是对于一个训练样本应用集成学习组合多个基分类器来完成学习任务,组合成一个强分类器,基分类器一般采用的是弱分类器,所谓弱分类器,是指学习的正确率仅略优于随机猜测的多项式学习方法;强分类器指正确率较高的多项式学习,集成学习的泛化能力一般比单一基分类器好,这是因为大部分基分类器分类错误的概率远低于单一基分类器。兹采用RBF SVM作为AdaBoost的弱分类器。RBF SVM分类主要受核参数 σ 及惩罚因子 C 的影响,这2个参数直接决定分类结果的好坏,当 C 很小时,分类精度主要依赖于 σ 的取值。因此在给定一个适当的 C ,其分类效果可以通过调节 σ 实现,因此兹采用适中精度的RBF SVM分类器, σ 的确定采用权重调整的方法。机器学习采用像元样本数据集 $(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, N, x_i$ 代表像元DN值(遥感影像像元亮度值,记录的地物的灰度值), $x_i \in \mathbf{R}^d, y_i$ 为类别符号, $y_i \in \{-1, +1\}$,由于是多类分类问题,一般采用二类别分类器,兹采用的是一对一分类器,在 n 类分类问题中构造了 $n(n+1)/2$ 个分类器,得到适合盐碱地分类的核参数和惩罚因子 C ,其中 σ_{\min} 为最小核参数, σ_{ini} 为初始核参数, σ_{step} 为步长核参数。算法步骤如图2所示。

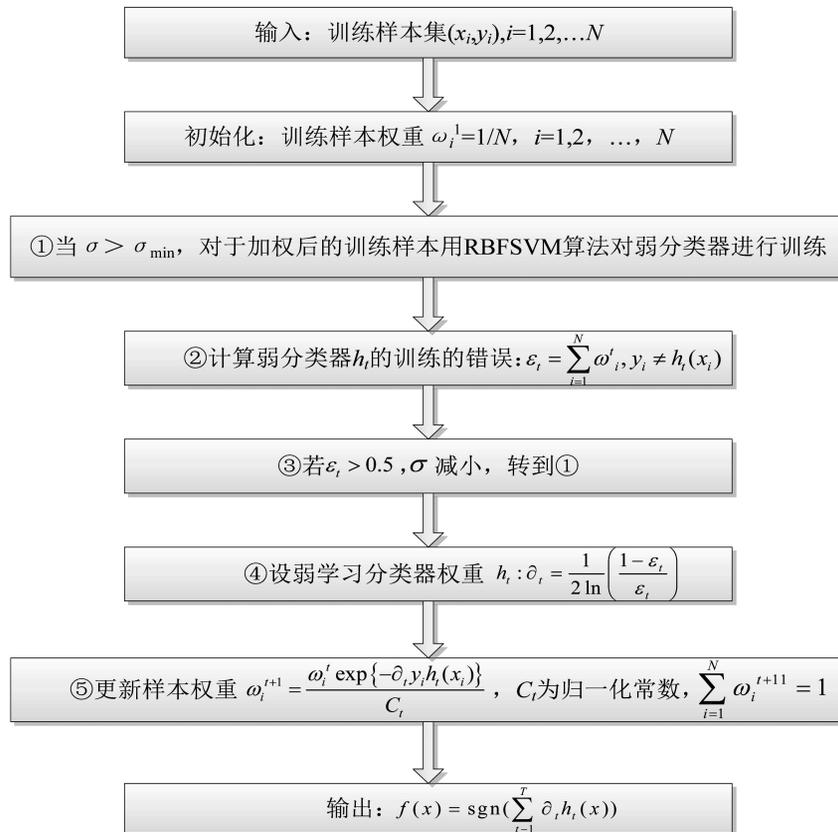


图2 改进SVM算法流程

1.4 遥感解译

在对无人机遥感影像进行综合判读的基础上,结合研究区地物自然属性、辅助资料以及野外调研结果,建立研究区内盐碱地等地物的遥感解译标志,结果见表1。

表1 遥感影像解译标志

类别	遥感影像样本	解译特征
重度盐碱地		影像上呈现亮白色斑块分布,中间几乎无植被生长
中度盐碱地		影像上白色斑块较少,且亮斑面积为30%~50%
轻度盐碱地		遥感影像上植被中间有亮白色斑块,且亮斑面积较小,约10%
未耕地块		影像上呈现出深褐色
已耕地块		影像上呈现出白色纹理,边界清晰
荒地		影像中呈现先浅黄色,纹理较为复杂
树木		影像呈深绿色与黑色,纹理复杂

所选的2个区域内盐渍化程度较为严重,属于封闭型水文地质单元。多年来,随着灌区提水工程提水运行,大面积的人工垦殖加之粗放的农田漫灌,引发了区域内大面积的水盐运移、重组和累积,随着地下水位不断抬升,诱发了大面积的区域土壤盐渍化,不同地块间盐渍化程度不尽相同,而不同季节盐碱地盐结皮表

征的颜色也不相同,本次试验是在春季,重度盐碱地表现为亮白色,中度盐碱地表现为白色与灰色相间的特征,轻度盐碱地表现为深灰色并伴有少量白色,通过试验测得重度盐碱地土壤含盐量在1.0%~2.2%之间,中度盐碱地介于0.5%~1.0%之间,轻度盐碱地则小于0.5%。在RBFSVM分类时,设定C取值在20~100之间,最小核参数 σ_{\min} 设置为任意2个训练样本的平均距离,初始核参数 σ_{\min} 设置为最小核参数的10~15倍,步长核参数 σ_{step} 可设置为1~3,其对于分类结果的影响并不大。从RGB彩色图像上获取感兴趣区域用来定义训练样本,分别从地块1、地块2分别选择训练样本(即不同类别感兴趣区域像元数据集)95、87个,由于训练样本的选取具有人为主观性,需要对每一类的样本进行分离性检验,对所选取的训练样本进行评价,因而在2个区域中分别选取检验样本90个和85个,检验样本的选取结合目视解译和现场监测,具有较高的可信性,将训练样本与检验样本进行可分离计算,分离性值大于1.9属于合格。根据可分离性值的大小对选取的训练样本进行调整,直到所选取的样本均符合要求。根据所选取的训练样本和参数分别采用传统SVM和改进SVM执行监督分类,同时采用ENVI5.3中的聚类(Clump)统计,对分类结果进行小斑点处理,消除部分误分的像元,从而获得最终分类结果。

1.5 分类结果评价方法

采用混淆矩阵法评价分类结果的精度。混淆矩阵的计算一般以地表真实图像或地表真实感兴趣区域作为参考,兹采用地表真实感兴趣区域,亦为所选取的检验样本。运用ENVI5.3中的Confusion Matrix工具进行计算,输出的混淆矩阵报表包含总体分类精度、Kappa系数、混淆矩阵(概率)、错分误差、漏分误差、制图精度和生产者精度等指标。选取总体分类精度、Kappa系数、生产者精度和使用者精度作为参考的评价指标,总体分类精度等于被正确分类的像元总和除以总像元数;Kappa系数亦是度量分类精度的指标,反映实际分类与真实参考分类的一致性^[23], $K=(p_0-p_e)/(1-p_e)$,式中 p_0 表示观测结果的一致率; p_e 为偶然达到一致性比率,即2次检验结果由于偶然机会所达到的一致性。;生产者精度=正确分类数/该类别总数;使用者精度=正确分类数/(正确分类数+错分到某类别总数)。

1.6 盐碱地面积提取方法

由于盐碱地类型及分布状况较为复杂,很难通过传统测量方法获得不同类型盐碱地面积。兹使用ArcGIS10.2统计功能将遥感解译和目视解译所得分类结果进行面积提取,目视解译则是灌区工作人员依据大量现场调研将各个区域的地物分布状况准确描述并矢量化所得,其结果应更加符合实际,可作为遥感解译所提取面积的参考。以误差为评价依据,分别将传统SVM与改进SVM分类方法下不同类型盐碱地的提取面积与目视解译提取面积对比,从获取面积的准确性角度反映2种分类方法的分类精度。

2 结果与分析

2.1 分类结果检验

分别采用传统SVM与改进SVM分类方法对2个区域进行分类,分类结果见图3。

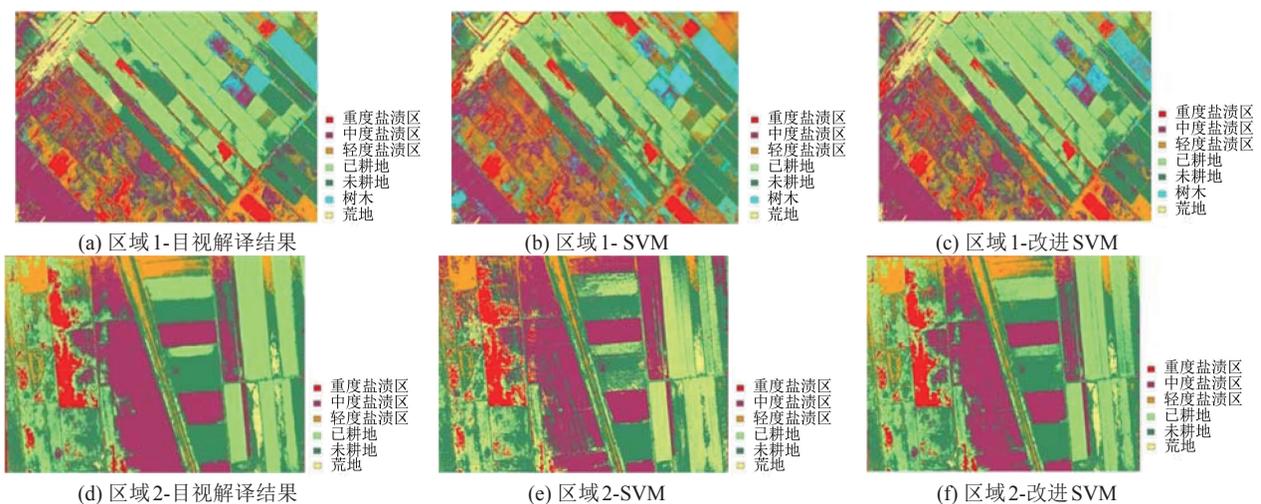


图3 2区域分类结果

如图3所示,由于地物分布的不规律性和人为活动的影响,导致在不同地物、不同区域具有不同特征。

区域1中西南部聚集了大面积的盐渍区,中部和东北部主要是耕地,SVM分类方法下耕地中出现了部分轻度盐渍区像元和未耕地像元,部分轻度盐渍区误分为树木;而改进方法中这种错分的像元明显减少,重度盐渍区与中度盐渍区在2种方法下差异不大,但改进方法中2种盐碱地与目视解译结果贴近。区域2中东部和西部主要是耕地和未耕地,中部和北部主要是盐渍区,荒地分布比较零星,SVM分类方法下中度盐渍区中出现了较多未耕地像元,已耕地中有较多未耕地像元,西部的大部分耕地被错分为重度盐渍区,改进方法中误分像元明显减少。

根据实地调查,不同类型的盐碱地光谱特征存在较大差异,有益于分类提取,但分布无一定规律,同时在部分耕地间也出现了不同类型的盐碱地,说明盐渍化有进一步向耕地扩张的趋势;其次,地块间分隔的距离较大,田埂上分布的地物较为复杂,在影像分类中很难进行区分,所以在分类结果中地块交界处出现的像元类型较为复杂。

2.2 精度评价

分别应用90、85个验证样本对2个区域的分类结果进行验证,采用混淆矩阵对分类结果进行评价,评价结果见表2、表3。

表2 区域1 遥感影像分类精度

方法	类别	重度盐渍区	中度盐渍区	轻度盐渍区	已耕地	未耕地	树木	荒地
SNM	生产者精度/%	98.97	57.43	100	99.76	94.44	92.96	85.49
	使用者精度/%	74.14	99.86	86.1	93.34	93.01	100	100
总精度:89.66%, Kappa 系数:0.876 1								
改进SVM	生产者精度/%	100	90.84	98.32	96.98	99.28	99.53	95.11
	使用者精度/%	90.31	96.21	98.53	97.26	96.4	92.58	100
总精度:94.66%, Kappa 系数:0.936 1								

表3 区域2 遥感影像分类精度

方法	类别	重度盐渍区	中度盐渍区	轻度盐渍区	已耕地	未耕地	荒地
SNM	生产者精度/%	97.16	92.28	85.02	99.51	98.51	42.99
	使用者精度/%	100	100	96.57	96.87	72.41	91.22
总精度:90.16%, Kappa 系数:0.877 5							
改进SVM	生产者精度/%	99.81	98.9	91.52	100	100	80.57
	使用者精度/%	100	90.74	99.87	99.9	90.45	100
总精度:96.55%, Kappa 系数:0.957 3							

由表2和表3可知,区域1改进SVM方法的分类总精度为94.66%,提升了5%,Kappa系数达到0.936 1;区域2中改进后的总精度提高了6.39%,达到96.55%,Kappa系数为0.957 3。从生产者精度与使用者精度来看,区域1中已耕地的分类精度最高,其次是未耕地,SVM分类方法下中度盐渍区分类精度最低;区域2改进SVM分类方法下重度盐渍区精度最高,荒地的精度最低。改进SVM分类方法下分类精度明显提升,各类盐碱地分类精度均达到90%以上,Kappa系数也均达到了9以上,说明该种下提取的实际结果与真实参考结果具有较高的一致性。

2.3 盐碱地面积提取与分析

目视解译信息提取过程主要根据地面调查数据和经验对无人机影像中的各地物进行矢量化完成,使用ArcGIS10.2软件,最终得到研究区的目视解译分类结果,并对各类盐碱地的面积进行统计。实测2个区域面积分别为139 556、54 685 m²,利用ArcGIS统计功能得到区域面积分别为139 884、54 801 m²,误差为0.23%、0.21%,误差较小,因而应用该方法提取各类盐碱地面积具有较高的准确性,同时也可以为对比2种分类方法的分类结果提供参考,2种分类方法的误差见表4。

表4 盐碱地面积提取结果及误差

区域	地物	目视解译面积/m ²	SVM		改进SVM	
			面积/m ²	误差/%	面积/m ²	误差/%
区域1	重度盐渍区	26 855	249 77	7.5	27 020	0.6
	中度盐渍区	57 569	34 932	64.0	57 716	0.2
	轻度盐渍区	55 460	60 600	8.4	54 496	1.7
区域2	重度盐渍区	7 258	10 515	31.1	6 863	5.4
	中度盐渍区	7 388	8 904	17.0	7 721	4.5
	轻度盐渍区	40 155	42 014	4.4	40 025	0.3

从表4可看出,基于SVM分类提取的盐渍区面积在2个区域中有较大的误差,最小误差为4.4%,最大误差达到64%,而基于改进SVM分类结果出现的误差显著减小,最小达到了0.2%,最大误差为5.4%,平均误差为2.16%。比较2个区域基于2种方法分类的结果,区域1中的中度盐渍区面积提取误差由64%减小到0.2%,区域2中重度盐渍区误差由31.1%减小到5.4%。2个区域不同方法提取的盐碱地面积与目视解译面积的误差均有所减小。从数值上看,估算值大于解译值说明存在错分现象,小于解译值说明存在漏分现象,区域1在SVM下重度盐渍区和中度盐渍区中出现了较多漏分像元,而轻度盐渍区错分像元较多。区域2在SVM下3种类型盐碱地均出现较多错分像元。而改进中错分或误分面积明显减小,对于面积提取精度明显提升。

3 讨论

目前对于盐碱地的监测大部分采用传统航空航天遥感影像,受精度和大气等因素的影响,对盐碱地信息的提取尚不能满足需求^[24]。无人机遥感系统具有成本低,机动灵活,图像分辨率高等优点,随着无人机技术的发展,其图像分辨率、飞行速度、对数据的采集频率以及通讯频带宽度均不断提高,对于无人机影像的研究一直处于探索阶段^[25]。干旱荒漠灌区盐碱地分布分散且范围广,类型复杂^[26],将区域无人机遥感应用于盐碱地信息的提取已成为研发技术的热点问题,SVM分类法已发展成为处理遥感影像的成熟方法,引入在迭代算法下具有较高精度AdaBoost算法,采用RBFSVM作为弱分类器,所构建的模型中,针对给定的惩罚参数 C ,采用权重调整的方法确定核参数 σ ,通过集成学习所构造的强分类器而减小分类错误的概率。以达到自适应调整核参数的目的,其在处理数据效率与分类精度上均有所改善,这种探索对于无人机影像的处理具有较好的借鉴意义。

支持向量机分类器对于小样本、高维问题以及非线性问题的处理表现出了良好的泛化能力与预测能力,但存在处理大样本数据速度慢,样本混叠时泛化能力降低的问题^[27]。AdaBoost算法通过调整弱分类器权重与样本权重,从弱分类器中筛选出权重系数最小的弱分类器组合一个最强分类器,将该算法应用于支持向量机能较好的解决分类的效率和精度问题,但AdaBoost算法对于目标信号的正样本与负样本在概率上极不平衡,目前仅是对正样本赋予较大权重来提高概率,不同分类器对于正样本识别率不同,容易造成训练失败,从而造成结果误差,将AdaBoost算法引入支持向量机分类中,也难免产生对分类结果不利的影晌^[28]。然而,该分类方法对于分辨率较高的遥感影像处理具有明显的优势,将AdaBoost算法应用于面对对象遥感影像处理技术^[29],使用该算法通过训练多级分类器从而完成对目标的快速检测^[30],均取得了较好的效果,将该算法引入盐碱地信息的提取其精度亦显著提高,具有很好的应用和推广价值。

4 结论

1)相对于传统SVM分类方法,改进SVM方法错分率与漏分率的像元明显减小,对3类盐碱地面积提取的正确分类率提高,总精度最高达96.55%,Kappa系数最高为0.9573,分类结果与真实参考结果具有较高的一致性。改进SVM分类方法的提取结果与目视解译面积相比,误差最大为5.4%,平均误差为2.16%,验证了该分类方法下的优越性,表明本文算法可以提高无人机影像的分类精度。

2)采用ArcGIS10.2统计功能对不同类型盐碱地面积进行提取,软件统计面积与实测面积误差在0.2%左右,对于分布类型复杂的盐碱地面积提取具有较好的应用价值,从解译图像可以看出,所选取的代表性区域内轻度盐碱地占主导地位,各类盐碱地分布较为集中,盐碱化程度较弱的土地有进一步扩散的趋势,随着灌区的不断的淋盐、返盐,盐碱化程度将会不断加深。

3)针对传统监督分类方法对于高分辨率无人机影像的地物提取,应用AdaBoost算法在SVM分类方法基础上进行改进,且对盐碱地信息进行了精确提取,但也存在一定的不足之处:本研究所采用的无人机数据空间分辨率为15cm,改进后的虽然在提取高分辨率无人机影像信息中其精度明显提高,但对于分辨率较低影像尚不能达到较高精度的要求,还需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] XU Cundong, ZHANG Hongyang, HAN Liwei, et al. Characteristic monitoring of groundwater-salt transportation and input-output in inland arid irrigation area[J]. Journal of Environmental Biology, 2014, 35(6):1181-1189.
- [2] 王海江,石建初,张花玲,等.不同改良措施下新疆重度盐渍土壤盐分变化与脱盐效果[J].农业工程学报,2014,30(22):102-111.
- [3] 卢星航,史海滨,李瑞平,等.覆盖后秋浇对翌年春玉米生育期水热盐及产量的影响[J].农业工程学报,2017,33(1):148-154.

- [4] 李建国, 濮励杰, 朱明, 等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 1233-1245.
- [5] 高峰. 无人机应用前景广阔[J]. 国防科技工业, 2011(9): 44-45.
- [6] 李云, 徐伟, 吴玮. 灾害监测无人机技术应用与研究[J]. 灾害学, 2011, 26(1): 138-143.
- [7] 常于敏. 无人机技术研究现状及发展趋势[J]. 电子技术与软件工程, 2014(1): 242-243.
- [8] 牛君瑜, 孙超江. 无人机技术在水利领域应用的探讨[J]. 海河水利, 2012(5): 55-56, 58.
- [9] MACHOVINA B L, FEELEY K J, MACHOVINA B J. UAV remote sensing of spatial variation in banana production[J]. Crop & Pasture Science, 2016, 67(12): 1 281-12 87.
- [10] CASBEER D W, BEARD R W, MCLAIN T W, et al. Forest fire monitoring with multiple small UAVs[C]// American Control Conference, 2005. Proceedings of the IEEE, 2008: 3 530-3 535.
- [11] 李冰, 刘镛源, 刘素红, 等. 基于低空无人机遥感的冬小麦覆盖度变化监测[J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 160-165.
- [12] 李宗南, 陈仲新, 王利民, 等. 基于小型无人机遥感的玉米倒伏面积提取[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 207-213.
- [13] 汪小钦, 王苗苗, 王绍强, 等. 基于可见光波段无人机遥感的植被信息提取[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 152-159.
- [14] 韩文霆, 郭聪聪, 张立元, 等. 基于无人机遥感的灌区土地利用与覆被分类方法[J]. 农业机械学报, 2016, 47(11): 270-277.
- [15] 张宏鸣, 李瑶, 王猛, 等. 基于无人机DEM的灌区渠系提取方法[J]. 农业机械学报, 2017, 48(10): 165-171.
- [16] 徐存东. 景电灌区水盐运移对局域水土资源影响研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [17] 姜雪, 卢文喜, 杨青春, 等. 应用支持向量机评价土壤环境质量[J]. 中国环境科学, 2014, 34(5): 1 229-1 235.
- [18] VAPNIK V N, 张学工. 统计学习理论的本质[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [19] 张学工. 关于统计学习理论与支持向量机[J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 32-42.
- [20] 马潇潇, 张光胜, 李长春, 等. 改进支持向量机无人机影像信息精确提取[J]. 测绘科学, 2015, 40(3): 47-51.
- [21] 曹莹, 苗启广, 刘家辰, 等. AdaBoost研究进展与展望[J]. 自动化学报, 2013, 39(6): 745-758.
- [22] 廖红文, 周德龙. AdaBoost及其改进算法综述[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(5): 240-244.
- [23] 黄亚博, 廖顺宝. 首套全球30m分辨率土地覆被产品区域尺度精度评价: 以河南省为例[J]. 地理研究, 2016, 35(8): 1 433-1 446.
- [24] 杨佳佳, 姜琦刚, 赵静, 等. 基于环境减灾卫星高光谱数据的盐碱地等级划分[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 118-124.
- [25] 杨瑞奇, 孙健, 张勇. 基于无人机数字航摄系统的快速测绘[J]. 遥感信息, 2010(3): 108-111.
- [26] 许迪, 王少丽, 蔡林根, 等. 利用NDVI指数识别作物及土壤盐碱分布的应用研究[J]. 灌溉排水学报, 2003(6): 5-8, 32.
- [27] 李龙, 刘峥. 基于训练特征空间分布的雷达地面目标鉴别器设计[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(4): 950-957.
- [28] 张彦峰, 何佩琨. 一种改进的AdaBoost算法: M-Asy AdaBoost[J]. 北京理工大学学报, 2011, 31(1): 64-68.
- [29] 龚健雅, 姚璜, 沈欣. 利用AdaBoost算法进行高分辨率影像的面向对象分类[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2010(12): 1 440-1 443.
- [30] 吴波, 刘嘉, 王宏琦, 等. 一种高分辨率遥感图像目标自动提取方法[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(11): 2732-2736.

An Improved Support Vector Machine Method for Estimating Saline-alkali Soil from Remote Sensing Imagery

XU Cundong^{1,2,3}, ZHANG Rui^{1*}, WANG Rongrong¹, CHENG Hui¹, LIU Luyao¹, WANG Yan¹, ZHU Xinglin¹

(1. School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China;

2. Collaborative Innovation Center of Water Resources Efficiency and Protection Engineering, Zhengzhou 450045, China;

3. Henan Provincial Hydraulic Structure Safety Engineering Research Center, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: **【Objective】** Remote sensing technology has been increasingly used in agriculture and this paper presents an improved support vector machine method to estimate saline-alkali soil from imagery obtained from UAV. **【Method】** We took the first irrigation district at the Jingtai Electric Power Irrigation District of Gansu Province as an example, and the Trimble UX5 fixed-wing UAV was used to collect the remote sensing imageries of the area. A new method based on the AdaBoost algorithm for classification of SVM was proposed to estimate the area of saline-alkali soil. **【Result】** Compared with traditional classification methods, the proposed SVM classification method significantly improved the calculation with an overall accuracy of up to 96.55% and Kappa coefficient of 0.957 3. Compared with the measured data, maximum and average errors of the improved methods were 5.4% and 2.16% respectively. **【Conclusion】** The improved SVM classification method proposed in this paper could effectively estimate saline-alkali soil based on remote sensing imageries.

Key words: UAVs at high altitude; saline alkali; AdaBoost; support vector machines; irrigation district

责任编辑: 刘春成