

一种基于 TVDI 模型的边界提取方法研究

阿多¹, 赵文吉¹, 宫兆宁¹, 周廷刚²

(1. 首都师范大学 资源环境与旅游学院; 三维信息获取与应用教育部重点实验室;
资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100048; 2. 西南大学, 地理科学学院, 重庆 400715)

摘要:提出一种基于 TVDI 模型的湿地边界信息提取方法, 利用 TM 遥感影像建立地表温度(T_s)与归一化植被指数(NDVI)之间的二维特征空间, 用 IDL 编程在特征空间内拟合温度植被干旱指数法(TVDI)需要的干、湿边方程, 并反演出试验区的土壤干湿情况. 利用野鸭湖湿地 $3\text{m} \times 3\text{m}$ 植物样方, 统计、分析、确定湿地生态系统的上边界. 试验测得湿地边界的土壤水分含量阈值 0.56, 根据该阈值确定湿地边界信息, 提取湿地边界. 通过该方法提取的湿地核心区准确率达到 72%, 说明利用遥感方法反演土壤水分含量, 提取湿地边界的方法可行.

关键词:温度植被干旱指数法; 湿地; 边界信息提取

中图分类号: TP79

文献标志码: A

系统的边界既是区分系统与其他环境的界限, 又是系统与其他环境相互作用的重要环节. 系统边界的确定在人们的认知过程中, 存在宏观上的相对确定性和微观上的相对不确定性. 由于系统大多处于不断调控变化过程中, 期间的相互作用机制必然也是复杂多变的. 确定系统的边界, 对于掌握系统对象, 系统内、外部的相互作用机制, 也具有重要意义. 线性系统常通过拉普拉斯及傅里叶积分变化的微积分方程描述^[1], 非线性系统的描述则相对复杂. 湿地生态系统是处于陆地生态系统和水生生态系统之间的过渡区域, 具有独特的水文、土壤、植被特征, 在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造地、降解环境污染、保护生物多样性、维护生态平衡等方面起着极其重要的作用^[2]. 湿地系统独有的物理化学环境是有湿地系统的水文条件决定的, 独有的物化环境也是区分其与深水水域生态系统以及陆地生态系统的依据. 在湿地系统和其他生态系统之间, 必然存在一个有众多因素决定的法则, 用以区分湿地系统和其他生态系统, 该法则即为湿地系统的系统边界. 传统方法在获取湿地水文、湿地植被、湿地土壤信息时, 需要大量的实地勘察工作, 对于一些面积较大区域, 很难做到面面俱到, 且时效性不高. 随着遥感技术的发展, 特别是中、高分辨率影像的普及和定量遥感技术的进步, 为快速、准确开展湿地边界研究奠定了基础.

遥感技术与计算机技术和数学学科的发展, 使得边界的提取方法变得丰富多样. 唐振军^[3]等利用基于 Sobel 算子、LOG 算子、Canny 算子的二值图像提取有用边界, 取得一定进展; 文献[4-6]通过膨胀和腐蚀的数学形态学基本运算, 解决了线状系统提取中的断线链接、噪声去除等问题, 提高了提取精度; 文献[7-8]等利用分形几何的边界提取方法, 对运动系统的边界提取进行了优化. 从以上研究可见, 利用计算机技术结合一定的数学方法, 提取系统边界的方法是可行的.

在湿地水文、湿地植被和湿地土壤对湿地的识别中, 湿地水文是具有决定性的因素, 它能促成其它 2 个湿地特征的形成^[9]. 湿地水文特征在非淹没区重点表现为土壤水分含量, 由此可见, 土壤水分在众多决定湿地的因素中的重要性. 因此可以从土壤水分入手探寻湿地边界信息. 基于传统边界提取方法, 诸如二值化法、数学形态学法、分形几何法等, 在面对复杂的湿地系统和遥感影像混合像元问题时, 不能很好与地物统一. 因

收稿日期: 2014-11-27

基金项目: 国家国际科技合作专项(2014DFA21620); 国家留学基金项目.

作者简介: 阿多(1983-), 男, 河南南阳人, 首都师范大学博士研究生, 主要从事环境遥感相关研究, E-mail: baisha_ad@163.com.

通信作者: 赵文吉, 首都师范大学教授, E-mail: zhwenji1215@163.com.

此需要找寻一种将遥感影像像元数据统一化,便于按照一定标准计算的方法.基于以上研究,利用2010年6月TM遥感影像,利用TVDI模型对研究区的土壤水分进行反演,利用土壤水分阈值对野鸭湖湿地边界信息进行提取.

1 研究基础

1.1 实验样区

本文研究区为北京市野鸭湖湿地保护区及周边区域.野鸭湖市(省)级湿地自然保护区是华北最大、北京唯一湿地鸟类自然保护区,位于北京市延庆县西南部的官厅水库上游,其地理位置为东经 $115^{\circ}47' \sim 115^{\circ}54'$,北纬 $40^{\circ}25' \sim 40^{\circ}30'$.属北温带大陆性季风气候,处于暖温带与中温带、半干旱到半湿润之间的过渡地带,具有四季分明的特点,降水大多集中在夏季的6~8月份,占全年降水量的75%.该区域土壤类型以褐土为主,湿地植被资源丰富,为水禽和各类鸟类提供了优越的觅食、隐藏、繁殖场所,是候鸟南北迁徙的主要信道.地表河流为发源于北京延庆县黑汉岭的妫水河^[10].

1.1.1 试验数据 利用遥感影像数据反演地面土壤水分,除受到大气气溶胶的影响,植被覆盖度也会影响反演结果.植被覆盖度较高,加剧植被蓄水量和蒸腾作用,影响反演结果,同时导致NDVI高值部分权重过大,使反演的土壤水分值偏离;植被覆盖度较低,说明雨水不够充沛,湿地生态系统未发育恢复,NDVI值会整体较低,同样影响反演精度.所以根据研究区的气候特点,6、7、8月是雨季,选择植被相对适中的6月份数据相对合理.

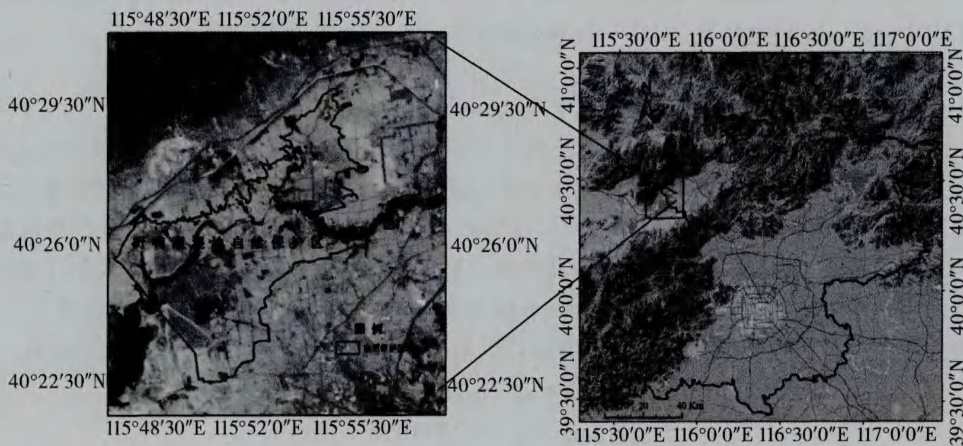


图1 研究区地理位置图

考虑遥感数据的光谱信息丰富度、空间分辨率及时间分辨率的合适度、价格的合理性,选择美国国家航天局(NASA)发射的Landsat5号卫星数据(空间分辨率为30 m,热红外波段为120 m)作为本次试验的基础数据.利用2010年6月5日的TM遥感数据(轨道号123/32),对北京野鸭湖湿地进行提取,见图1.

为了验证反演精度,卫星过境当天,在研究区选择4个剖面,铝盒称重法采样获取土壤水分含量.验证数据为北京市林业局提供的北京市湿地矢量数据.为了增加比对可靠性,本次提取湿地主要是以核心区湿地为主要研究目标.

2 研究方法

2.1 技术路线图

对TM数据进行几何精校正、6S大气校正^[11],经过大气校正后的数据能更好地去除气溶胶的影响.在综合研究比较了主要的利用光谱数据反演土壤水分模型后,本文决定采用建立在地表温度(T_s)和归一化植被指数(NDVI)基础上的温度植被干旱指数法(TVDI)来反演土壤水分,该方法建立在温度和归一化植被指数二维特征空间基础上^[12].地表温度 T_s 的反演模型选择的单窗算法^[13],其中的气象数据由设立在野鸭湖湿

2.4 TVDI 转换为土壤水分相对湿度

温度植被干旱指数(TVDI)反演结果,只是一个表征土壤干湿情况,值介于 0~1 之间的定量指数,我们需要转换为土壤相对湿度以便与实测值比对.范辽生^[20]提供的模型将温度植被干旱指数(TVDI)转化成土壤的相对湿度,即土壤水分百分比:

$$RSM = RSM_w - TVDI * (RSM_w - RSM_d), \tag{11}$$

式中 RSM_w 和 RSM_d 分别为研究区特征空间内湿边和干边对应的土壤相对含水量,其中 RSM_w 值最大, RSM_d 最小.

根据 TS-NDVI 特征空间散点图的分布特征,发现水体的温度主要分布在最低值,且水体的湿度可以认为是饱和的,因此确定湿边上的土壤相对湿度确定为 100%.干边的土壤相对湿度可以通过借助(12)式得到:

$$RSM_{D_i} = 100 - \frac{100 - Y_i}{X_i}, \tag{12}$$

Y_i 为该点实测的土壤相对湿度; X_i 为该点的对应的 TVDI 值.将求出的 RSM_{D_i} 值求平均作为干边上的土壤相对湿度.结合(12)式得出土壤相对湿度值.

3 结果与讨论

3.1 土壤水分反演结果

依据 TVDI 模型反演土壤水分结果图如图 4 显示.

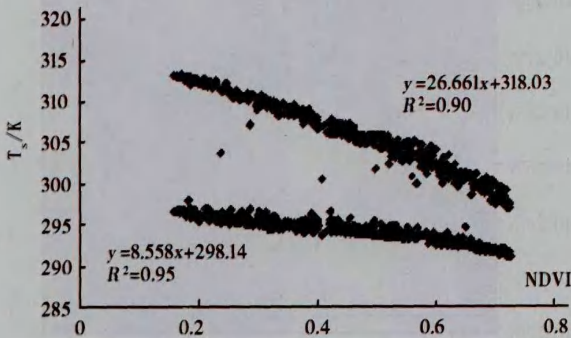


图3 TVDI干湿边特征点提取结果

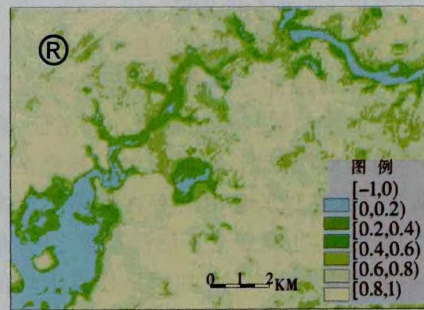


图4 土壤水分反演结果图

利用野外实测数据对反演的土壤湿度进行精度验证.见表 1.

表 1 植被干旱指数法反演结果误差分析表

类别	平均绝对误差	平均相对误差	均方根误差
误差范围	0.08	0.25	0.10

从实测数据和反演数据的对比结果发现,两者的增减趋势大体一致(图 5).从误差分析表中可以看出,反演的土壤水分含量和实际测量值之间的平均绝对误差为 0.08,平均相对误差在 0.25 左右.利用统计软件 SPSS 分析两者相关性,相关系数 0.860,显示显著相关(显著性小于 0.01),说明反演结果具有可信度.

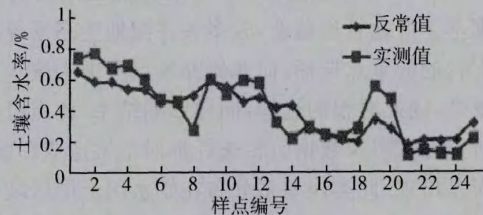


图5 反常值和实测值分布趋势图

湿地边界提取结果.湿地植被大体分为 5 个类别:水生植被群落、湿生植被群落、中生植被群落、旱生植被群落、盐生植被群落.水生植物只能在湿地环境内生存,离开湿地环境的存活率只有 1%;湿生植物的生活环境比较宽,67%~99%生长在湿地环境中,但是也有 1%~33%的几率在非湿地环境中生存;中生植物在湿地环境和非湿地环境中生长的概率为 33%~67%^[21].基于湿地

植被特征,探寻湿地土壤水分与湿地植被的关系,通过测量湿地植被对应的土壤水分,作为提取湿地边界信息的阈值,从而确定湿地边界.根据以上研究在野鸭湖湿地选择20个样方测试土壤水分.选择湿生、中生植物群落占比50%的样方^[21],然后确定对应样方的土壤水分含量,求均值得出本实验需要的阈值.野鸭湖湿地典型湿生、中生植物群落选取有代表性的优势种群作为研究对象.

根据研究方案,提取湿地核心区斑块,试验主要选取湿生植物和中生植物作为研究对象.野鸭湖湿地的主要湿生植物群落包括:酸模叶蓼群落、三叶鬼针草群落、大刺儿菜群落、牛鞭草群落等.主要中生植物群落包括:鹅绒藤群落、蒙古蒿群落、刺儿菜群落、大车前群落等.根据野外实测样方数据,野鸭湖湿地样方内的土壤含水量提取阈值设为0.56.根据该阈值提取的湿地斑块结果见图6.

针对提取结果,用北京市林业局提供的北京市湿地数据(2004)进行验证,见表2.

表2 提取湿地边界信息的精度评价

数据类型	面积/(km ²)	重合面积/(km ²)	重合面积所占比率	相对误差
核心区	16.47	11.89	0.72	0.28
提取结果	16.99	11.89	0.70	0.28

从统计结果出发,结合反演结果展示图,可见提取结果与野鸭湖湿地保护区核心区数据在斑块形状、统计面积方面基本一致,说明该方法基本达到试验目的.

3.2 讨论

研究采用TVDI模型,用2010年6月5日的TM影像数据提取野鸭湖湿地的边界,精度达到0.72.说明该方法可以提取湿地系统边界.为系统边界提取提供了一种新的思路.

3.2.1 土壤水分反演结果的误差原因

1) 遥感数据空间分辨率的存在,决定遥感影像数据和地面实测数据不能很好一一对应.影像数据获得的是面层数据,验证的实测数据是点层数据,两者之间在做验证时会存在偏差不能准确反映反演精度.这也是定量遥感的难题之一.最大限度地提高影像的分辨率,加密采样点求均值的数据作为像元验证点,会对提高验证精度有帮助.

2) 模型本身利用了较多的反演参量,譬如地表比辐射率、温度、归一化植被指数等.在这些参量的反演中产生的误差带入土壤水分反演模型.由于误差的累积,势必会对反演结果产生一定影响.提高这些参量的反演精度,也会对提高试验精度有益.

3.2.2 提取的湿地斑块与林业局提供的数据比对结果

1) 提取的湿地面积和验证数据之间出现0.5 km²的误差,分析认为原因在于:林业局提供的核心区数据基于湿地管理角度,较多关注湿地生态系统内部结构特征,结合湿地保护和管理的不有效性等因素,会做出有目的的重点选择.而此研究重点考虑土壤水分情况.湿地系统范围在不同年际间、同一年内四季变化情况复杂,因此时相的选择,同样影响结果.此点可做进一步深入探讨,研究不同季相的反演精度.因此研究目的、研究方法以及数据时相选择都对结果造成影响.2) 提取结果和验证数据的重合率达到72%,还是有28%的误差出现.此类误差多分布在妫水河上游区域和野鸭湖湿地服务站附近以及河沟岔道末端.验证数据获得于2004年,本次研究采用2010年数据,在6年的时间跨度内,妫水河和拒马河等上游来水减少,导致官厅水库库容减少,水面缩小,湿地出现一定退化.退化湿地部分是产生误差的主要区域.部分区域因为湿地恢复项目存在,出现提取范围大于验证数据的情况.

综上所述,提取结果具有可信度,在利用土壤水分反演结果提取湿地信息的实验中,提取结果和验证数据主体基本吻合,重合率达到71%,说明该方法适用于遥感湿地信息的提取,可以用来确定湿地的边界.利

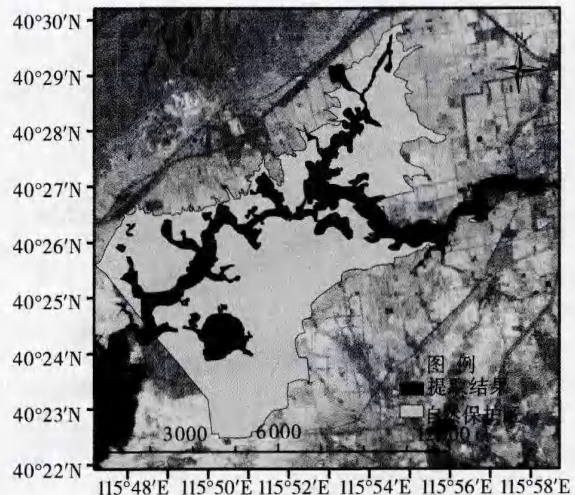


图6 野鸭湖湿地信息提取图

用温度植被干旱指数(TVDI)反演土壤水分,反演结果和实测值比较,均方根误差为0.1042,说明该方法不仅适用于全国等大尺度范围的遥感监测,同样也适用于野鸭湖保护区这样的小尺度范围。

通过土壤水分反演结果提取湿地的边界信息的方法可行,且不同季相土壤水分含量不同,影像的成像效果也不相同。探讨不同季相反演结果,以及阈值的确定,可以作为未来的研究方向。

参 考 文 献

- [1] 张永强,姜节胜,高跃飞,等. 微分变换法在动力学响应分析及系统边界参数识别中的应用研究[J]. 机械强度,2005,27(4):419-424.
- [2] 王颖,宫辉力,赵文吉,等. 北京野鸭湖湿地资源变化特征[J]. 地理学报,2005,60(4):656-664.
- [3] 唐振军,张显全. 一种二值图像边界提取算法[J]. 微计算机信息,2006(10X):281-283.
- [4] 李辉,代俊勇,张利华,等. 利用数学形态学的遥感影像水系提取方法[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2011(08):956-959.
- [5] 杨先武,韦春桃,吕健刚. 一种基于卷积运算的遥感影像道路提取方法[J]. 地理空间信息,2010(4):87-89.
- [6] 李晓飞,马大玮,范小麟. 基于数学形态学的遥感图像多感兴趣区域提取[J]. 计算机技术与发展,2007(12):56-59.
- [7] 马峰,唐泽圣,夏绍玮. 多尺度几何活动曲线及MR图像边界提取[J]. 计算机学报,2000(08):829-834.
- [8] 罗诗途,王艳玲,罗飞路,等. 基于分形几何边界提取的图像跟踪方法[J]. 应用光学,2006(01):19-22.
- [9] 余国营. 湿地研究的若干基本科学问题初论[J]. 地理科学进展,2001(02):177-183.
- [10] 林川,宫兆宁,赵文吉. 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例[J]. 生态学报,2013(04):1172-1185.
- [11] 阿布都瓦斯提·吾拉木,秦其明,朱黎江. 基于6S模型的可见光、近红外遥感数据的大气校正[J]. 北京大学学报:自然科学版,2004(04):611-618.
- [12] 王鹏新,孙威. 基于植被指数和地表温度的干旱监测方法的对比分析[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2007(03):319-323.
- [13] 覃志豪. 用陆地卫星TM6数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报,2001(04):456-466.
- [14] 陈怀亮,冯定原,邹春辉. 麦田土壤水分NOAA/AVHRR遥感监测方法研究[J]. 遥感技术与应用,1998(04):27-35.
- [15] 郭锐,陈添宇,雷建勤,等. 用NOAA卫星可见光和红外资料估算甘肃省东部农田区土壤湿度[J]. 应用气象学报,1997(02):85-91.
- [16] Sandholt I R K A J. Simple Interpretation of the Surface Temperature Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status[J]. Remote Sensing of Environment,2002(79):213-234.
- [17] Price J C. Thermal inertia mapping: a new view of the earth[J]. GeoPhysical Research,1977(82):2582-2590.
- [18] Moran M S C T R I. Estimating Crop Water Deficit Using the Relation between Surface-Air Temperature and Spectral Vegetation Index[J]. Remote Sensing Environment,1994,3(49):246-263.
- [19] 姚春生,张增祥,汪潇. 使用温度植被干旱指数法(TVDI)反演新疆土壤湿度[J]. 遥感技术与应用,2004(06):473-478.
- [20] 范辽生,姜纪红,盛晖,等. 利用温度植被干旱指数(TVDI)方法反演杭州伏旱期土壤水分[J]. 中国农业气象,2009(02):230-234.
- [21] Committee On Characterization Of Wetlands. Wetlands: Characteristics and Boundaries [M]. Washington D C: National Academy Press,1995.

A Wetland Boundary Information Extraction Method Based on The Inversion of Soil Moisture

A Duo¹, ZHAO Wenji¹, GONG Zhaoning¹, ZHOU Tinggang²

(1. College of Resource Environment and Tourism; Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application of Ministry of Education; Key Laboratory of Resources Environment and GIS of Beijing Municipal, Capital Normal University, Beijing 100048, China;
2. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The extraction of soil moisture of wetland is of great significance to the wetland system. So this paper presents a model based on the ideal of this extraction to get the wetland boundary. The two dimensional feature spaces of surface temperatures(Ts)and normalized differential vegetation index (NDVI) is established by using the TM remote sensing images, and the dry and wet side equation which is necessary in the TVDI model is fitted in the feature space with the programming of IDL. Using observed data of plant sample from the wild to determine the reference upper boundary. After statistics and analysis, the threshold of soil moisture is identified as 0.56. The core area of wetlands accuracy of the method of extraction by 72%, indicating that the inversion of soil moisture through remote sensing methods to extract the wetland boundary is feasible.

Keywords: TVDI; soil moisture inversion; wetland boundary extraction