

# 一种基于投票法融合的 ASTER 遥感影像水体提取方法

吴春花, 杜培军, 夏俊士

(国土环境与灾害监测国家测绘局重点实验室(中国矿业大学), 徐州 221116)

**摘要:** 遥感影像在水资源调查和洪涝灾害监测中发挥着重要作用, 但从遥感影像中提取水体通常面临着阴影和狭小水体漏提等难题。针对单一方法在水体提取中的局限性, 引入分类器集成的思想, 提出一种基于投票法融合的水体提取方法, 首先利用 Bagging、Random Forests 和神经网络(NN)分类器对遥感影像进行分类, 然后采用多数投票法从决策层融合 3 个分类结果, 得到研究区水体提取结果。试验结果表明, 该方法能够有效去除阴影且能较好地识别狭小水体, 具有良好的应用效果。

**关键词:** 遥感; 投票法; 水体提取; Bagging; Random Forests

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2012.02.010

**中图分类号:** TP79    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3177(2012)120-0051-06

## A Method of Water Extraction Based on Voting Method Fusion for ASTER Remote Sensing Image

WU Chun-hua, DU Pei-jun, XIA Jun-shi

(Key Laboratory for Land Environment and Disaster Monitoring of State Bureau of Surveying and Mapping,  
China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116)

**Abstract:** Remote sensing imagery plays an important role in water resources surveying and floods monitoring. Extracting water from remote sensing images are often faced with some problems, such as the perturbation of shadow, the leakage of narrow water et al. According to the limitations of single approach, a thought of classifier integration was introduced and a novel water extraction algorithm is proposed based on voting. Firstly, Bagging, Random Forests and Neural Net classifiers were used to classify remote sensing images. Then, the majority voting was adapted to fuse the above three classification results. Finally, the final map of water was obtained from the decisive fusion result. The experimental results show that the proposed method can effectively remove the shadows and identify the small water well.

**Key words:** remote sensing; voting method; water extraction; Bagging; Random Forests

### 1 引言

水资源调查与保护、湿地保护、洪涝灾害的监测、评估及应急都要求具有实时、可靠的水体分布、结构和水质信息, 遥感数据因其具有获取周期短、监测范围广、地物信息丰富、人为干扰因素少等优越性, 在快速、准确地提取水体信息中发挥着越来越重

要的作用<sup>[1~3]</sup>。

利用遥感影像进行水体提取通常采用单波段阈值法、多波段法和分类提取法。单波段阈值法是利用对水陆界限反映敏感的近/中红外波段与某阈值的关系来提取水体信息, 缺点是较难去除阴影影响且往往漏提较窄的水体<sup>[2]</sup>。多波段法主要是利用影像各个波段间的综合关系来提取水体, 可分为谱间

收稿日期: 2011-04-06    修订日期: 2011-05-05

基金项目: 国家 863 高新技术研究发展计划项目(2007AA12162)和中国地质调查局地质调查工作项目(1212011120229)。

作者简介: 吴春花(1986~), 女, 硕士研究生, 研究方向: 遥感图像处理与模式识别。

**E-mail:** dupjrs@cumt.edu.cn, dupjrs@126.com

关系法和水体指数法<sup>[4]</sup>。周成虎等利用 Landsat TM 影像中水体独特的谱间关系特征,即  $TM2 + TM3 > TM4 + TM5$ ,能够较为精确地提取水体,但仍然会漏提较窄的河流<sup>[2]</sup>。水体指数法是通过波段之间的比值运算增强某些地物之间的反差。Mcfeeters 于 1996 年提出了归一化差异水体指数(Normalized Difference Water Index, NDWI),能够有效地抑制植被信息,增强水体信息<sup>[5]</sup>。但应用 NDWI 提取水体时,通常会夹杂着许多非水体信息,尤其是对于城市水体的提取。为了解决这一问题,徐涵秋于 2005 年提出了一种新的水体指数,即改进的归一化差异水体指数(Modified NDWI, MNDWI),该指数在提取城市水体信息时得到了较好的应用<sup>[6~7]</sup>。

上述方法对于包含狭小水体较多和受阴影影响严重的区域应用效果仍然存在不足。由于狭小水体往往以混合像元的形式存在,而且水体与阴影具有高度的光谱相似性,使得采用单一方法难以精确地提取水体。为了有效地提取狭小水体并弱化阴影的影响,可以将多种方法的提取结果进行决策级融合。本文提出一种基于投票法的水体提取模型,首先应用多种分类算法包括 Bagging、Random Forests 和 NN 等对遥感影像进行分类,然后对分类结果利用多数投票法进行融合,并以 ASTER 影像作为试验数据进行水体提取。

## 2 方法与实现

水体提取主要基于水体自身的光谱特征或水体与背景地物之间的显著光谱差异两方面的特征。

### 2.1 常规水体提取方法

#### 2.1.1 单波段阈值法

由于水体在可见光至近/中红外波段的反射率较低,而非水体在近/中红外波段具有较高的反射率,因此在遥感影像上水体呈现较低的亮度值,而非水体则呈现较高的亮度值。单波段阈值法就是利用水体与非水体在遥感影像上反射率或亮度值之间的差异来提取水体的。模型如下:

$$\rho < T \quad (1)$$

式中: $\rho$  为地物的光谱反射率, $T$  为选定的阈值。其中阈值的确定是模型的关键,最佳阈值的确定必须通过反复试验得到。

#### 2.1.2 水体指数法

徐涵秋针对归一化差异水体指数(NDWI)在土壤和城市建筑用地因绿光与近红外波段的光谱特征

与水体相似而容易造成误提的缺点,提出改进的归一化差异水体指数(MNDWI)<sup>[6~7]</sup>。公式如下:

$$MNDWI = (\rho_{green} - \rho_{mir}) / (\rho_{green} + \rho_{mir}) \quad (2)$$

式中: $\rho_{green}$ 、 $\rho_{mir}$  分别为地物在绿光波段与中红外波段的光谱反射率。

### 2.1.3 分类提取法

分类提取法包括非监督分类提取法和监督分类提取法<sup>[4]</sup>。分类提取法将水体作为一个类别,或者不同类型的水体作为不同分类,应用特定分类器进行遥感影像分类,最终获取水体信息。研究中采用神经网络分类器进行水体分类。

### 2.2 基于分类器集成的水体提取方法

由于水体包括多种类别,而且其光谱特征受不同因素影响,单一分类器往往难以取得理想效果,因此本研究提出采用分类器集成的方法进行水体提取。

#### 2.2.1 Bagging 算法

Bagging(全称为 Bootstrap Aggregating)算法的基本思想是:从原始训练数据集中,分别独立随机地采用放回采样的方式,抽取  $k$  个数据( $k \leq T$ )以形成自助数据集。抽样过程独立进行许多次,直到产生很多个独立的自助数据集。然后,每一个自助数据集都被独立地用于训练一个“分量分类器”。在分类过程中,所有的分量分类器都对测试样本进行分类,最终的分类判决将根据分量分类器判决结果的投票来决定<sup>[8]</sup>。

分类过程中,将研究区分为水体和非水体两类,采用的软件为 ENVI/IDL 和 Weka,具体实现步骤如下:

①在 ENVI 中打开原始遥感影像,选择训练样本和测试样本,利用 IDL 编写生成 ARFF 文件的转换代码,包括影像的转换代码和样本的转换代码,将影像文件和样本文件转换为 ARFF 格式;

②在 Weka 中,选择 Bagging 分类器作为分类方法,并选择 REPTree 作为其基分类器,构建分类模块;

③将转换后的训练样本和遥感影像数据调入分类模块进行分类,输出遥感影像分类结果;

④利用 IDL 编写的文件转换格式将 Weka 输出的分类文件转换成 ENVI 能读存的 BSQ 存储格式的二进制分类文件。

#### 2.2.2 Random Forests 算法

Random Forests(RF)是一个由结构树分类器集合组成的分类器<sup>[9]</sup>。在机器学习中,Random

Forests 是一个包含多个决策树的分类器, 并且其输出的类别是由个别树输出的类别的众数而定。

Random Forests 由以下学习算法构造每棵树:

①用  $N$  来表示训练示例的个数,  $M$  表示变量的数目。

②已知一个数  $m (m \ll M)$ ,  $m$  被用来决定当在一个节点上做决定时, 会使用到多少个变量。

③从  $N$  个训练示例中以可重复取样的方式, 取样  $N$  次, 形成一组训练集(即 bootstrap 取样), 并使用这棵树来对剩余预测其类别且评估其误差。

④对于每一个节点, 随机选择  $m$  个基于此点上的变量。根据这  $m$  个变量, 计算其最佳的分割方式。

进行 Random Forests 分类时具体操作步骤与 Bagging 分类大致相同, 分类器选择为 Random Forests 即可。

### 2.2.3 基于投票法的决策级融合

投票法是较为常用的抽象级分类器集成方法, 投票法多数规则是将大多数分类器一致分类的类别归为待分类像元的类别。当多个类别获得的投票数目相同时, 通常是随机选择其中一个类别作为最终的结果。研究采用流程如图 1。

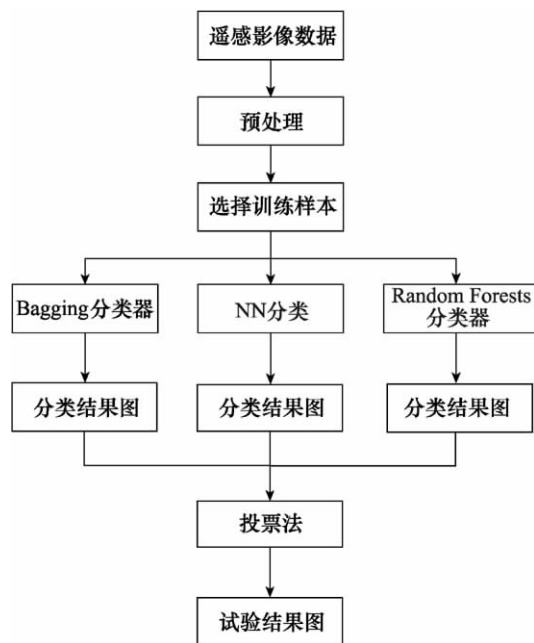


图 1 水体提取流程图

## 3 试验与分析

### 3.1 试验区及数据

采用的数据源为徐州市 2006 年 3 月 16 日 ASTER 影像, 包含从可见光至热红外范围的 14 个波段。其中后 5 个波段为热红外波段, 空间分辨率较

低且在水体提取中应用较少, 因此研究中选择前 9 个波段作为试验数据, 并将 30m 分辨率的短波红外波段重采样为 15m 分辨率, 图像经过几何校正后, 选取  $1000 \times 1000$  影像作为试验区。试验区内主要地物类型为植被、建筑用地、水体和山体。试验区假彩色合成影像如图 2。



A: 云龙湖 B: 较窄河流 C: 塌陷地积水  
D: 小块积水 E: 山体阴影

图 2 试验区假彩色合成影像(RGB:3,2,1)

### 3.2 多种水体提取方法的试验与比较

由于试验区水体类型较为复杂, 主要包含云龙湖(图 2A), 较窄的河流(图 2B), 塌陷地积水(图 2C)以及小块水体等(图 2D)。因此在针对研究区进行水体提取时要充分考虑到实际情况, 尽量避免误提和漏提。

以试验区影像的中红外波段经反复试验最终确定阈值为 5, 单波段阈值法提取水体结果如图 3(a)。

将试验区影像代入公式(2)计算具体波段, 得到 MNDWI 法提取水体结果如图 3(b)。

利用分类提取法经反复试验, 其中 SVM 分类器采用 RBF 核函数, NN 分类器为分层前神经网络得到分类结果最好。SVM、最大似然分类器(MLC)、NN 等提取水体结果如图 3(c)至图 3(g)将 Bagging、Random Forests 和 NN 三种分类结果采用投票法得到提取水体结果图 3(h)。

经多次试验将 Bagging、Random Forests、NN 和 SVM4 种分类结果采用投票法得到提取水体结果较好, 如图 3(i)。

将 Bagging、Random Forests、NN、SVM 和 MLC5 种分类结果采用投票法得到提取水体结果图 3(j)。

为了评价水体提取效果, 将原始影像图与各种

方法的水体提取结果图相叠加,根据先验知识在原始影像上随机选取测试样本。分别将单波段阈值

法、MNDWI 法、分类提取法以及投票法进行精度统计。不同水体提取方法精度统计如表 1。

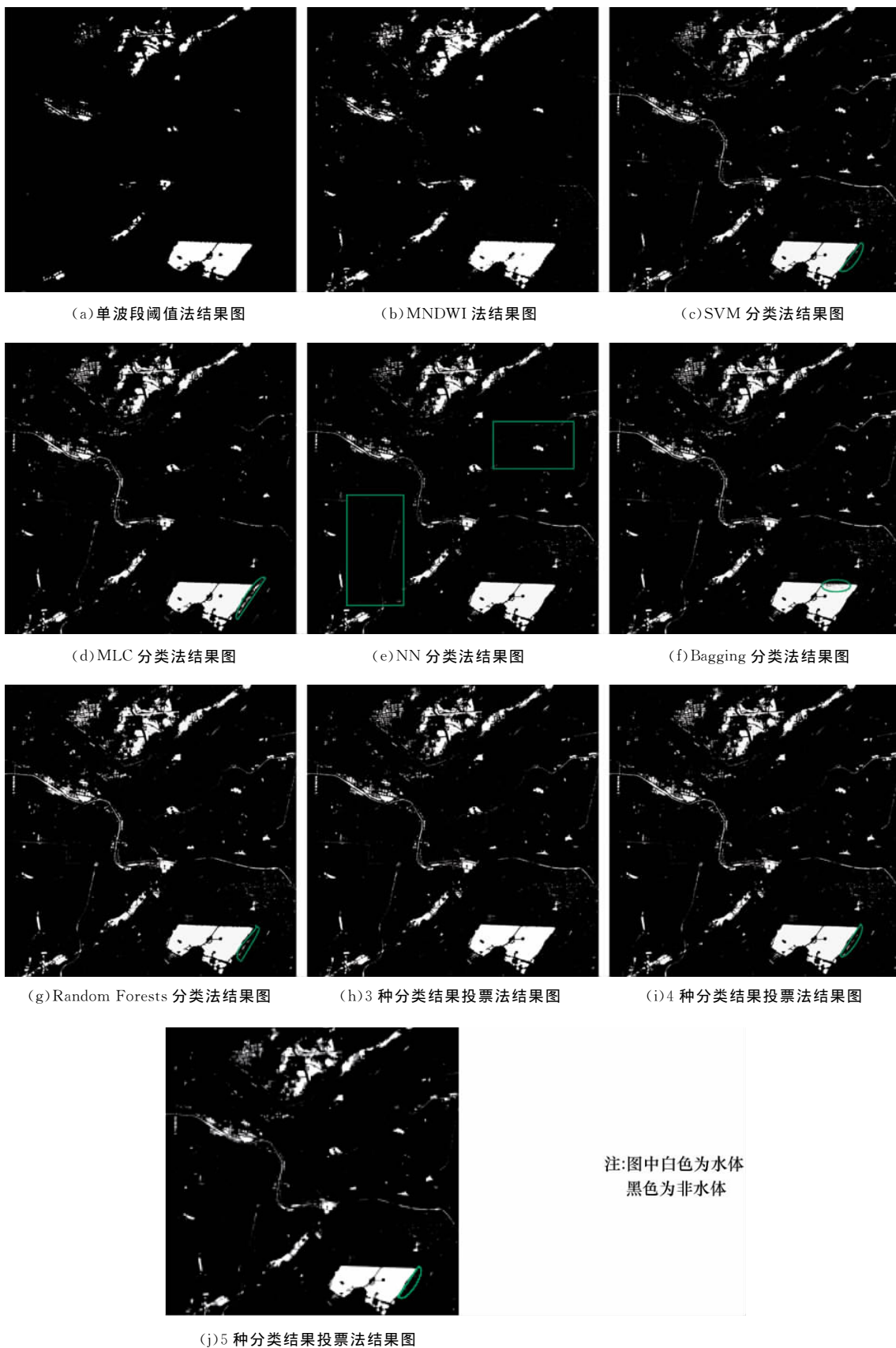


图 3 多种方法提取水体试验结果图

表 1 水体提取试验的精度评价

	总精度(%)	Kappa 系数
单波段阈值法	94.24%	0.8030
MNDWI 法	96.00%	0.8344
SVM 分类	97.35%	0.8847
MLC 分类	97.40%	0.8850
NN 分类	97.50%	0.8859
Bagging 分类	97.57%	0.8863
Random Forests(RF)分类	97.52%	0.8860
投票法(Bagging, RF, NN)	97.90%	0.9042
投票法(Bagging, RF, SVM)	97.78%	0.8986
投票法(Bagging, RF, MLC)	97.79%	0.8987
投票法(Bagging, SVM, NN)	97.68%	0.8973
投票法(Bagging, SVM, MLC)	97.65%	0.8868
投票法(Bagging, MLC, NN)	97.72%	0.8978
投票法(RF, SVM, NN)	97.71%	0.8975
投票法(RF, MLC, NN)	97.73%	0.8980
投票法(RF, SVM, MLC)	97.66%	0.8866
投票法(SVM, MLC, NN)	97.49%	0.8857
投票法(Bagging, RF, NN, SVM)	97.70%	0.8974
投票法(Bagging, RF, NN, MLC)	97.67%	0.8870
投票法(Bagging, RF, MLC, SVM)	97.63%	0.8867
投票法(Bagging, MLC, NN, SVM)	97.56%	0.8862
投票法(MLC, RF, NN, SVM)	97.58%	0.8864
投票法(Bagging, RF, NN, MLC, SVM)	97.80%	0.8988

对表 1 和图 3 进行分析,参照试验区高分辨率影像和假彩色合成影像(图 2)可以看出:

①从水体提取整体效果看,以上水体提取法均能较好地提取云龙湖、塌陷地积水等大块水体。单波段阈值法提取水体的总精度为 94.24%,MNDWI 法提取水体的总精度为 96.00%,提取水体精度较其他方法都略低。从图 3(a)、(b)也可看出:两种方法在提取研究区水体时,只将面积相对较大的水域

提取出来,包括云龙湖和塌陷地积水,而漏提了较窄的河流和一些小处的积水,漏提现象较严重。这主要是试验区水体类型较为复杂,并存在大量狭小水体的缘故,因此这两种方法不适合该区域水体提取。但两者进行比较可以看到,MNDWI 法略优于单波段阈值法,提取了不连续的河流。

②与单波段阈值法和 MNDWI 法相比较来看,分类提取法在提取狭小水体方面有了较好的改善,把试验区水体较为完整的提取出来,但同时部分分类器也误提了山体阴影(图 2E)。由图 3(c)至图 3(g)可看到:SVM、MLC 和 Random Forests 分类法在较好提取狭小水体的同时也误提了阴影。NN、Bagging 分类法没有误提阴影,但 NN 分类法漏提了狭小水体,而 Bagging 分类法提取了不完整的云龙湖边界。

③对投票法进行对比可知 3 种分类结果投票法的精度为 97.90%,一方面略高于四/五种分类结果投票法,更为重要的是它有效地抑制了阴影的误提现象。

综合各种水体提取法可以看到:将 Bagging、Random Forests 和 NN 分类结果利用投票法提取水体结果能够将试验区的水体准确的提取出来,包括云龙湖、大块的水域、塌陷地积水、较窄的河流和小处的积水。虽然在提取水体精度方面差异不太显著,但该方法在提取狭小水体和弱化阴影影响两方面显现出优势。与单波段阈值法和 MNDWI 法相比,能够将较窄的河流提取出来;与分类提取法和四/五种分类结果投票法相比,能够有效去除山体阴影的误提并在提取较窄河流方面有了较好的改善。

为了更好地说明在本文中为什么选择 Bagging、Random Forests 和 NN 分类结果进行投票可以得到最优水体提取模型,将提取狭小水体、提取阴影、提取边界、与非水体的区分度 4 个方面作为准确提取水体的指标。对图 3(c)至图 3(g)利用高分辨率遥感影像与假彩色合成影像(图 2)进行分析可以看出,各种分类法提取水体时在以上 4 个指标中的反映如表 2。

表 2 各种分类法水体提取试验的指标统计(表中,YES:达到指标;NO:未达到指标)

	提取狭小水体	提取阴影	提取边界	与非水体的区分度
SVM 分类法	YES	YES	YES	YES
MLC 分类法	NO	YES	YES	NO
NN 分类法	NO	NO	YES	YES
Bagging 分类法	YES	NO	NO	YES
Random Forest 分类法	YES	YES	YES	YES

从表 2 可以看到各种分类法水体提取试验中,除 MLC 分类法之外其他方法在提取水体时均能有效地与非水体区分。除 Bagging 分类法之外其他方法在提取水体时均能有效地提取边界。由于投票法遵循大多数分类器一致分类的类别来判别像元的归属类别这一原则。要达到剔除阴影且提取狭小水体的目的,投票法所包含的分类法中提取阴影指标必须含“NO”,提取狭小水体指标必须含“YES”,因此 Bagging 分类、NN 分类为投票法中必选的分类法。

通过分析 SVM 分类法、MLC 分类法和 Random Forest 分类法可以看到,MLC 分类法不能提取狭小水体且不能有效地与非水体区分;SVM 分类法和 Random Forest 分类法对 4 种指标的反映状况一致,但从表 1 可以看出两者在精度上有一定的差异,SVM 分类法提取水体精度为 97.35%,而 Random Forest 分类法提取水体精度为 97.52%,因此选择 Random Forest 分类法作为投票法的一种分类方法。综合分析可知,选择 Bagging、NN 和 Random Forest 进行投票可得到最佳的水体提取结果。

#### 4 结束语

利用遥感影像提取水体时,阴影影响和较窄河流的提取是一个较难解决的问题。本文针对单一方法的不足,基于分类器集成的思想,提出一种新的水体提取方法,即投票法融合的水体提取方法。一般情况下,该方法提取水体精度要高于单分类器提取水体的精度。以徐州市 ASTER 影像作为试验区,经研究发现:利用投票法(Bagging、Random Forest、NN3 种分类结果)可以准确地提取水体,包括较大面积的水域(云龙湖、塌陷地积水等)、较窄的河流以及小处的积水。通过定量比较和目视解译,可以发现本文方法能够有效地实现水体提取,改善了常规水体提取方法在提取狭小水体和弱化阴影影响的局限性。但由于单分类器在提取水体时的精度和适用性会受到试验区的影响,因此在利用投票法提取水体时要根据该区域的实际情况来选择几种和哪几种分类结果进行投票。今后,我们将进一步利用投票法在不同地区做更多试验和更深入的研究工作,以期建立稳定可靠的水体提取方法。

#### 参考文献

- [1] 丁凤. 基于新型水体指数(NWI)进行水体信息提取的实验研究[J]. 测绘科学, 2009, 34(4): 155—157.
- [2] 周成虎, 骆剑承, 杨晓梅, 等. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [3] 黄海波, 赵萍, 陈志英, 等. ASTER 遥感影像水体信息提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(5): 525—528.
- [4] 席晓燕, 沈楠, 李小娟. ETM+ 影像水体提取方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(4): 993—996.
- [5] Mcfeeters S. K. . The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425—1432.
- [6] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589—595.
- [7] XU H. Q. . Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(14): 3025—3033.
- [8] Breiman L. . Bagging predictors[M]. Machine learning, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [9] Breiman L. . Random Forests[J]. Machine learning, 2001(45): 5—32.

#### 《测绘文摘》将改刊为《导航定位学报》, 欢迎赐稿

《导航定位学报》是由国家测绘地理信息局主管, 中国测绘科学研究院和中国测绘学会科技信息网分会联合主办的高水平学术刊物, 由原《测绘文摘》改刊。《导航定位学报》主要刊登各种导航定位系统的理论创新、技术进步、科技前沿、实践应用、技术装备等方面的研究论文, 其主要栏目包括: 专家论坛、导航前沿、定位研究、装备进展、应用研究、行业动态、产品资讯等。欢迎导航定位领域的科技工作者赐稿, 刊登从速, 服务从优。来稿一般要求不超过 8000 字, 符合科技学术论文的要求规范, 论文具有一定的创新性和新颖性。

来稿请寄: 北京市海淀区北太平路 16 号 中国测绘科学研究院《导航定位学报》编辑部

邮编: 100039 电话: (010)88217814 联系人: 杨俊志 投稿邮箱: dhdwxb@casm. ac. cn