

引文格式: 杨骥, 韩留生, 陈水森, 等. 一种基于城市水体指数与分形几何算法的 OLI 遥感影像水体提取方法[J]. 测绘通报, 2018(4): 44-49. DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2018.0108.

# 一种基于城市水体指数与分形几何算法的 OLI 遥感影像 水体提取方法

杨 骥<sup>1,2,3</sup> 韩留生<sup>4</sup> 陈水森<sup>3</sup> 李 勇<sup>3</sup>

(1. 中科院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 广州地理研究所, 广东 广州 510070; 4. 山东理工大学建筑工程学院, 山东 淄博 255000)

**摘要:** 针对严重污染的城市水体与道路、建筑物、阴影等易于混分, 以及遥感水体提取结果不连续、存在斑点问题, 本文以广州市流溪河与东江水系为研究对象, 基于 2016 年与 2017 年 OLI 遥感影像, 采用本文新提出的城市水体指数法(CWI), 同时结合分形几何算法, 通过设置形状面积等特征, 实现城市复杂环境下的水体信息的自动提取。并与单通道算法、改进的归一化差异水体指数(MNDWI)算法、支持向量机法(SVM)与光谱角度的水体提取结果进行对比分析。结果表明: SVM 算法出现大量斑点, 其次为 MNDWI 水体指数算法, 光谱角度算法与单通道算法斑点较少, 但水体提取结果不连续, 部分河道漏分。本文提出的算法能够克服山体阴影、道路、建筑物等影响, 实现城市污染水体以及一般水体连续、准确提取。本文的提取结果可为水资源调查、洪水灾害预测评估、水利规划、环境监测等工作提供基础数据支撑。

**关键词:** 城市水体指数; 分形几何; OLI 影像

中图分类号: P237

文献标识码: A

文章编号: 0494-0911(2018)04-0044-05

## Extracting Water Information from OLI Remote Sensing Images Based on City Water Index and Fractal Geometry

YANG Ji<sup>1,2,3</sup>, HAN Liusheng<sup>4</sup>, CHEN Shuisen<sup>3</sup>, LI Yong<sup>3</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China; 4. Shandong University of Science and Technology, Zibo 255000, China)

**Abstract:** In the remote sensing images, roads, buildings and shadows are difficult to distinguish from severely polluted urban water bodies. And the extracting results from remote sensing images are not continuous and exists some spots. Aimed at these problems, this paper based on the 2016 and 2017 OLI remote sensing images, city water index (CWI) method is used. The fractal geometry algorithm and the shape area are used to automatic extract the water information in urban complex environment. The results are compared with single channel algorithm, modified normal difference water index (MNDWI) algorithm, support vector machine method (SVM) and spectral angle method. The results shows that there are a large number of spots in the SVM algorithm, followed by the MNDWI water body index algorithm. The spectrum angle algorithm and the single-channel algorithm are with fewer spots, but the water extraction results are discontinuous and part of the channel leakage. The algorithm proposed in this paper can continuously and accurately extract urban water bodies, and can also overcome the influence of mountain shadows, roads and buildings. Compared with other methods, this method is greatly improved. The results can provide basic data support for water resources investigation, flood disaster prediction and assessment, water conservancy planning and environmental monitoring.

**Key words:** city water index; fractal geometry; OLI images

城市河流是城市泄洪排涝、饮用水源或生态景观的重要组成部分。随着城市的扩张与人口的陡增, 城市河流的管理与监测面临着严峻的压力<sup>[1]</sup>。

遥感具有面积大、周期短、实时性、信息量大等优势, 为水体信息提取提供了新的监测技术。高分辨率卫星影像被广泛用于水体信息的提取<sup>[2-4]</sup>, 并已成为水

收稿日期: 2018-01-30

基金项目: 广东省科学院实施创新驱动发展能力建设专项(2017GDASCX-0101); 广东省引进创新创业团队项目(2016ZT06D336); 广东省水利科技创新项目(2015-14); 广州市水务科技项目(SW-2018-001)

作者简介: 杨 骥(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为水环境遥感与时空大数据。E-mail: yangji@gdas.ac.cn  
通信作者: 陈水森

资源调查、洪水灾害预测评估、水利规划、环境监测等工作的重要技术手段之一<sup>[5-6]</sup>。

目前,利用遥感手段提取水体信息的主要方法有:单波段阈值法、水体指数法<sup>[7-12]</sup>、面向对象法<sup>[13-16]</sup>等。阈值法的特点是简单易行,但提取精度不高,尤其是对城市中常见的细小且严重污染的水体提取效果不稳定<sup>[17]</sup>;水体指数法是通过特征波段间的比值运算,以区分水体与其他地物,但运用于城市水体提取时,易受到道路、建筑物等影响而出现斑点<sup>[18]</sup>;面向对象法将图像分割为由若干个同质像元组成的对象,将地物的光谱信息与空间结构信息、纹理信息结合,适合复杂环境中的地物提取<sup>[19-20]</sup>,是目前遥感水体提取的研究热点之一。

针对严重污染的城市水体与道路、建筑物、阴影等易于混分,以及遥感水体提取结果不连续、存在斑点问题,本研究以广州北部、东部的两条主要河流的OLI遥感影像为研究对象,基于城市水体指数,结合八邻域像元分析对水体进行标注,通过设置形状、面积等特征阈值,实现城市复杂环境下的城市河流信息的自动提取。

## 1 数据介绍及预处理

### 1.1 数据简介

Landsat 8 携带的两个主要载荷之一的陆地成像仪(operational land imager,OLI)包含覆盖了可见光、近红外、热红外的9个通道,多光谱通道空间分辨率为30 m,辐射分辨率为16 bit,成像宽幅为185 km×185 km,重访周期为16 d。较高的空间分辨率、辐射分辨率、幅宽、重访周期以及水色通道能够满足城市河流监测与信息提取需求,是目前水体信息监测的重要数据资源。

广州市是我国一线城市,水系发达。流溪河水系广州段属于山区地形,部分河段及支流受工业污水、生活废水影响水体污染严重<sup>[21]</sup>;东江水系广州段位于广州与东莞交界处,水体受到工业的严重污染,周边建筑物、道路网密集<sup>[22]</sup>。因此,本文选择广州市北部流溪河水系和东部东江水系作为试验区。收集了流溪河(2016年12月7日,2017年4月30日)与东江(2016年2月7日,2017年10月23日)共4景少云的OLI影像用于本文的研究(详细信息见表1)。

### 1.2 数据预处理

对OLI影像的预处理主要包括精确大气校正和边界切割处理。卫星影像可见光通道受大气影响严重,传感器接收到的地表反射信息,两次经过大气,大气中气体分子、气溶胶、云雾水滴、冰晶等对太阳

光线的作用使得传感器接收到的地表信息发生变化;且水体反射信息微弱,大气信息在总信号中占到90%以上。因此,遥感影像上精确提取水体前需对遥感影像进行精确的大气校正。当前大气校正可以采用的方法有基于统计分析的大气校正方法和基于辐射传输模型的大气校正方法。基于统计分析的大气校正方法需要有同步的地面实测数据做支持,该方法不具有较好的普适性;基于辐射传输模型的大气校正方法具有较好的物理意义和普适性,因此研究中采用了基于辐射传输模型的Flaash模型进行大气校正。由于缺乏同步的大气信息,在大气校正中,采用迭代求解大气气溶胶光学厚度。

表1 试验中采用的OLI卫星影像

序号	研究区	日期	云量/(%)	轨道号	
				行号	列号
1	流溪河	2016-12-07	12.15	122	44
2		2017-04-30	18.93		
3	东江	2016-02-07	2.44	121	44
4		2017-10-23	0.05		

## 2 研究方法

本文研究思路如图1所示,首先针对城市污染水体提出采取城市水体指数(CWI)实现城市水体的提取。其次对影像进行预处理,采用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)判断影像中是否存在云:若存在云,则采用MNDWI先去除云阴影,然后采用CWI指数提取城市水体信息;若不存在云,则直接采用CWI指数提取城市水体信息,然后采用短波红外通道消除部分建筑物等噪声。最后采用分形几何算法消除其他噪声影响,基于形态学闭运算与开运算提取连续的河流信息。

### 2.1 城市水体指数

由于水体在短波红外通道强吸收使得该通道反射率接近于0,植被与建筑物在短波红外远大于0,因此许多学者采用短波红外单通道提取水体信息<sup>[4-6]</sup>。随着水体中悬浮物的增加,水体在短波红外的反射率远大于0,学者们基于绿光通道与短波红外通道提出了MNDWI指数法<sup>[23]</sup>,该算法对于混浊的水体达到良好效果。然而城市水体受到生活污水、工业废水等严重污染,以及复杂外界条件的影响,严重污染的城市水体在绿光通道反射率降低,导致污染水体MNDWI值降低,与道路易于混分。相关研究表明污染水体对绿光通道比较敏感<sup>[24]</sup>,因此

笔者基于前人的研究基础提出了 CWI 指数为

$$CWI = \frac{\rho_{green}}{\rho_{swir}} \quad (1)$$

式中,  $\rho_{green}$  与  $\rho_{swir}$  分别对应 OLI 影像的第 3 波段与第 6 波段。试验表明, 阈值设为 1.2 可较好地识别城市污染水体与正常水体, 且能避免部分建筑物、道路与桥梁等影响。

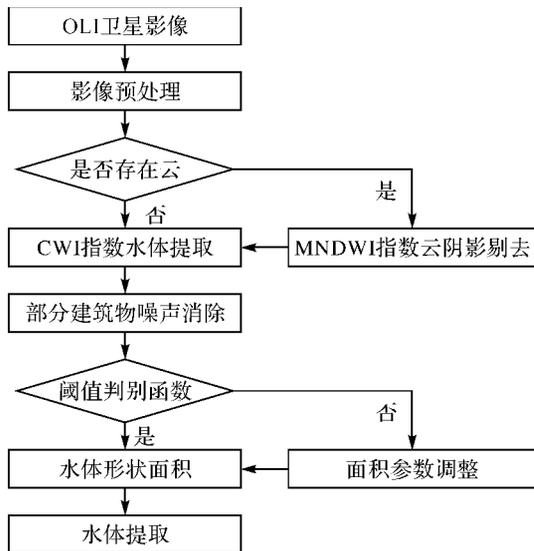


图 1 总体流程

### 2.2 基于分形几何算法等的噪声消除

城市建筑物复杂多样, 部分建筑物的 CWI 值与污染水体的 CWI 值相近, 通过试验发现城市污染水体在短波红外通道的反射率值低于 0.15, 而混分的部分建筑物的反射率值高于 0.15, 采用短波红外单通道阈值法可剔除易于混分的建筑物噪声。

云的阴影与污染水体光谱近似, CWI 指数难以区分云阴影与污染水体。笔者通过试验发现, 云阴影的 MNDWI 值小于 0.2, 而水体的 MNDWI 值大于 0.2, 采用 MNDWI 指数能够识别云阴影。因此用 CWI 指数提取水体信息前, 判断影像中是否存在云, 若存在云, 则采用 MNDWI 先去除云阴影, 然后采用 CWI 指数提取城市水体信息; 若不存在云, 则直接采用 CWI 指数提取城市水体信息。

在初步提取的结果中, 1 代表水体(前景), 0 代表其他地物(背景), 由于城市水体还受到其他噪声等影响, 存在大量孤立分量, 是需要消除的。本文将各连接分量采用空间邻域法进行标注(如图 2 所示) 将前景影像分割成不同的子集, 并用数值进行标注, 然后采用直方图统计面积, 通过交互式方法设置阈值面积, 有针对性提取水体。

1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	2	2	0	0	0	0
1	1	1	0	0	2	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	4	0	0	0
1	1	1	0	0	0	4	0	0	0
0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
0	0	0	3	3	3	0	0	0	0
0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(a) 二值图像 (b) 四邻域

图 2 连接分量示意图

### 2.3 数学形态学闭运算

利用水体指数可以快速准确实现大面积河流的提取, 然而, 对于易受到建筑物遮挡的细小支流提取时会出现河流间断。笔者通过对比研究了形态学的膨胀与腐蚀等相关计算, 发现基于数学形态学的闭运算可解决城市细小支流出现的部分间断问题, 同时又较好地保持了河流形状信息。

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2)$$

式中  $A$  为待处理图像;  $B$  为计算模板。闭运算先用模板  $B$  对待处理图像进行膨胀, 然后再对处理后的图像进行腐蚀。闭运算可有效实现间断线的连接。

## 3 结果与分析

### 3.1 CWI 指数敏感性分析

CWI 采用 OLI 影像的第 3 通道与第 6 通道计算, 第 3 通道为绿光通道受大气影响严重, 第 6 通道为短波红外通道受大气影响较弱, 由于大气气溶胶等复杂多变, 不同日期、不同区域的影像大气纠正前 MNDWI 差异显著, 本文对影像进行大气纠正, 大气纠正后 CWI 均小于或等于 1.2。试验表明阈值设为 1.2 可较好地识别水体, 尤其是城市污染水体, 可以避免绝大部分建筑物、植被等影响。

城市水体污染较严重, 部分河流出现黑臭而且由于污染物浓度过高, 导致水体在绿光通道有较高的反射, CWI 指数中水体与部分建筑物难以区分。但是由于水体在红短波红外通道强吸收, 在短波红外通道水体反射率小于部分建筑物反射率, 而部分建筑物反射率小于植被反射率, 可以设置一定的阈值将城市严重污染的水体与道路分开提取。

### 3.2 水体提取结果及分析

将单通道阈值、MNDWI 算法、SVM(支持向量机) 算法、光谱角度算法以及本文改进的算法分别用于 2016 年 12 月 7 日、2017 年 4 月 30 日大气纠正后的流溪河流域 OLI 影像以及 2016 年 2 月 7 日、2017 年 10 月 23 日大气纠正后的东江流域 OLI 影像。

表2 大气纠正前后CWI值对比

研究区	影像日期	大气纠正前CWI			大气纠正后CWI		
		水体	植被	建筑物	水体	植被	建筑物
流溪河	2016-12-07	>1.17	<0.67	<1.17	>=1.20	<1.20	<1.20
	2017-04-30	>1.01	<0.70	<1.01	>=1.20	<1.20	<1.20
东江	2016-02-07	>1.33	<0.86	<1.33	>=1.20	<1.20	<1.20
	2017-10-23	>1.29	<0.83	<1.29	>=1.20	<1.20	<1.20

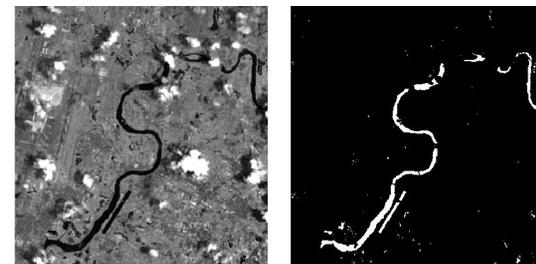
图3(a)与图4(a)为大气纠正后的流溪河流域影像,流溪河提取结果如图3(b)-(f)与图4(b)-(f)所示。由于山体阴影、坑塘等的影响,MNDWI(如图3(c)与图4(c)所示)算法与SVM算法提取的河流较连续,但是存在大量斑点;单通道阈值法与光谱角度算法提取的河流存在少量斑点,但是提取的河流出现间断;本文算法提取的河流连续且无噪声,图4(f)河流出现部分间断原因是受云的影响。结果表明,本文提出的算法能够实现河道宽度大于30m的严重污染水体提取,并能克服山体阴影、坑塘以及桥梁等影响,适用于山区城市河流的提取。

图5(a)与图6(a)为大气纠正后的东江流域影像,东江水体及其支流提取结果如图5(b)-(f)与图6(b)-(f)所示。由于城市建筑物、道路、坑塘等影响,MNDWI算法与SVM算法能够较好地提取东江及其细小支流,但是提取结果存在大量斑点;单通道阈值法与光谱角度算法对大面积水体提取效果较好,但是细小的支流出现间断,另外也存在少量斑点。本文算法提取的东江及其细小支流连续且无斑点噪声。结果表明,本文提出的算法能够克服建筑物、道路坑塘等影响,可适用于城市建筑密集条件下的河流提取。

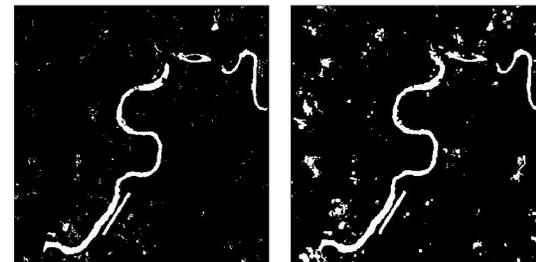


(e) 光谱角度算法 (f) 本文结果

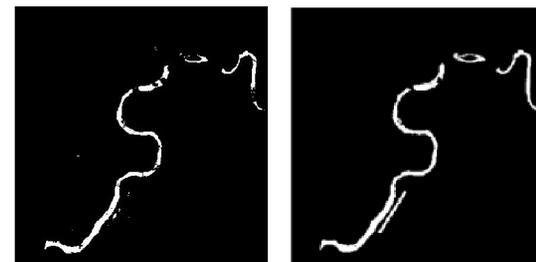
图3 2016年12月7日流溪河水体提取结果



(a) 原始图像(6,5,3波段合成) (b) 短波单通道算法

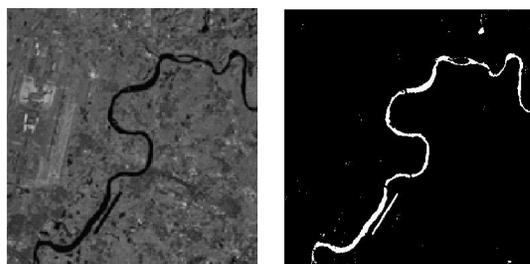


(c) SWVI算法 (d) SVM算法

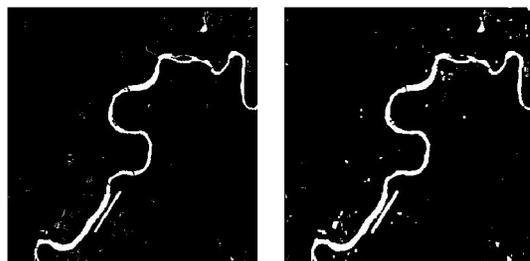


(e) 光谱角度算法 (f) 本文结果

图4 2017年4月30日流溪河水体提取结果



(a) 原始图像(6,5,3波段合成) (b) 短波单通道算法



(c) SWVI算法 (d) SVM算法

#### 4 结论

本文以广州市流溪河与东江水系为研究对象,

基于2016年与2017年OLI遥感影像,采用CWI水体指数法,同时结合分形几何算法,通过设置形状面积等特征,实现城市复杂环境下水体信息的自动提取。并与单通道算法、MNDWI水体指数算法、SVM算法与光谱角度算法的水体提取结果进行了对比分析。具体结论如下:

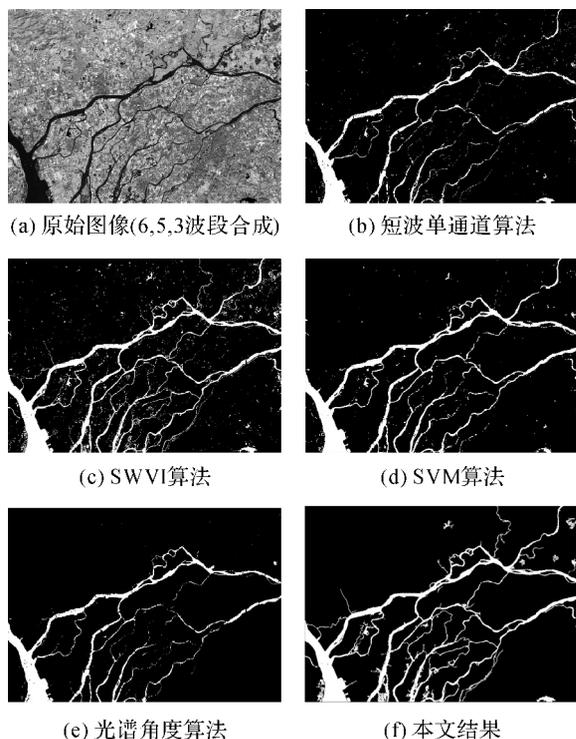


图5 2016年2月7日东江水体提取结果

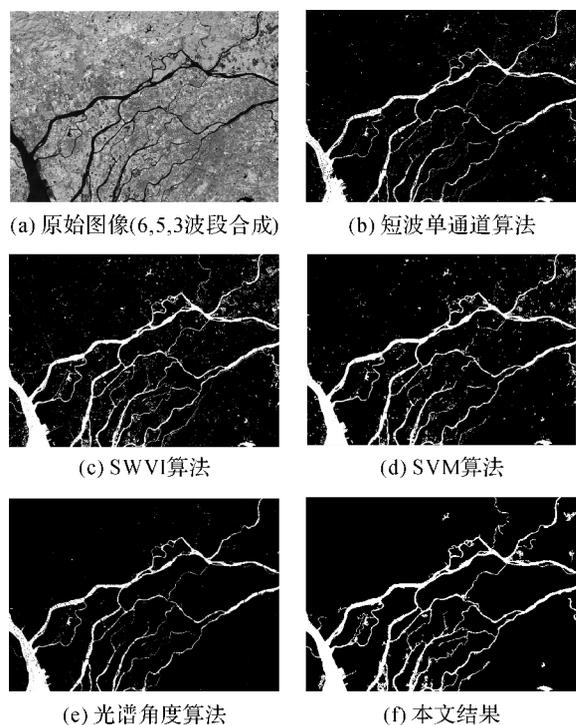


图6 2017年10月23日东江水体提取结果

(1) CWI受大气影响显著,本文对影像进行大气纠正,大气纠正后CWI均大于或等于1.2,试验表明阈值设为1.2可较好地识别城市水体。

(2) 将单通道阈值、MNDWI算法、SVM算法、光谱角度算法以及本文改进的算法分别用于2016年12月7日、2017年4月30日大气纠正后的流溪河流域OLI影像以及2016年2月7日、2017年10月23日大气纠正后的东江流域OLI影像。结果表明本文提出的算法能够较好地提取出大面积的河流及细小支流,提取结果连续且无斑点噪声,能够克服建筑物、道路坑塘等的影响,完全适用于城市建筑密集条件下的污染水体与一般水体提取。

本文研究采用30 m分辨率OLI影像进行河流提取,由于受到空间分辨率限制,难以提取细小河流,下一步计划将本文算法用于高空间分辨率影像。本文提出的算法能够实现城市污染水体以及一般水体连续、准确提取,为城市水资源的管理与保护提供基础数据支撑。

#### 参考文献:

- [1] 杜云艳,周成虎.水体的遥感信息自动提取方法[J].遥感学报,1998,2(4):364-369.
- [2] 周蕾,崔云霞,韦玉春,等.空间分辨率对水体遥感信息提取的影响[J].南京师范大学学报(工程技术版),2015,15(4):66-74.
- [3] 程滔,刘若梅,周旭.基于高分辨率遥感影像的地理国情普查水体信息提取方法[J].测绘通报,2014(4):86-89.
- [4] 杨果果,高原,周蕾.水体信息遥感自动提取与演变分析——以南京城区为例[J].测绘与空间地理信息,2016(10):35-39.
- [5] 高佳华,王文惠,韩鑫,等.基于遥感影像的喀什地区水体提取[J].西部资源,2017(5):131-133.
- [6] 陈婧,邓一兵.基于ETM+遥感影像水体信息提取方法探讨[J].测绘与空间地理信息,2011,34(1):177-180.
- [7] 骆剑承,盛永伟,沈占锋,等.分步迭代的多光谱遥感水体信息高精度自动提取[J].遥感学报,2009,13(4):604-615.
- [8] 张伟,赵理君,郑柯,等.一种改进光谱角匹配的水体信息提取方法[J].测绘通报,2017(10):34-38.
- [9] 钱立辉,于成龙,徐进,等.基于Canny算子与决策树模型的水体信息提取研究[J].测绘与空间地理信息,2016(10):178-181.
- [10] 何海清,杜敬,陈婷,等.结合水体指数与卷积神经网络的遥感水体提取[J].遥感信息,2017(5):82-86.
- [11] 李小涛,黄诗峰,郭怀轩.基于纹理特征的SPOT 5影

- 像水体提取方法研究[J].人民黄河,2010,32(12):5-6.
- [12] 董李霞,燕琴,骆成凤,等.基于NDWI分割与面向对象的水体信息提取[J].地理空间信息,2017,15(5):57-59.
- [13] 陈晨,陈静欣,李向前,等.面向对象的高分辨率影像水体信息提取研究[J].人民黄河,2013,35(9):68-70.
- [14] 李士进,王声特.基于混合特征空间MRF(Markov Random Filed)模型的高分辨率遥感影像水体提取[J].南京师大学报(自然科学版),2017,40(1):13-19.
- [15] 殷亚秋,李家国,余涛,等.基于高分辨率遥感影像的面向对象水体提取方法研究[J].测绘通报,2015(1):81-85.
- [16] 杜斌.基于面向对象的高分辨率遥感影像水体信息提取优势研究[D].昆明:云南师范大学,2014.
- [17] 李艳华,丁建丽,闫人华.基于国产GF-1遥感影像的山区细小水体提取方法研究[J].资源科学,2015,37(2):408-416.
- [18] 张红梅,王大卫,高杨,等.基于OLI数据与决策树法的去山体阴影水体信息提取研究[J].测绘工程,2017,26(11):45-48.
- [19] 李长春,张光胜,慎利.基于AdaBoost算法的遥感影像水体信息提取[J].测绘科学,2013,38(2):104-106.
- [20] 宋英强,杨联安,许婧婷,等.基于Landsat-8卫星OLI遥感影像和AdaBoost算法的水体信息提取[J].测绘地理信息,2017,42(3):44-47.
- [21] 高强.珠三角感潮河网水体黑臭评价方法初探[J].生态与环境工程,2011(16):200-202.
- [22] 杨宇,董天明,王丽萍,等.广州市重点整治河涌水质指数WQI的研究思路与应用[J].广东化工,2017,44(13):171-172.
- [23] 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.
- [24] 董小华,谢欢,仇雁翎,等.黄浦江上游水域的多光谱遥感水质监测与反演模型[J].武汉大学学报(信息科学版),2006,31(10):851-854.

(上接第43页)

- [14] MAHMOUD M H. *Polya Urn Models* [M]. Boca Raton, State of Florida: CRC Press, 2009: 50-53.
- [15] 何朝兵.关于Polya罐子模型的几个结论[J].海南大学学报(自然科学版),2009,27(4):332-335.
- [16] 杜培军.遥感原理与应用[M].北京:中国矿业大学出版社,2006:171-172.
- [17] 周辉仁,郑丕谔,牛犇.基于递阶遗传算法和BP网络的模式分类方法[J].系统仿真学报,2009,21(8):2243-2247.
- [18] GEMAN S, GEMAN D. Stochastic Relaxation, Gibbs Distribution, and Bayesian Restoration of Images [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1984, 6(6): 721-741.
- [19] CONGALTON R G, GREEN K. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices* [M]. Boca Raton, State of Florida: CRC Press, 2008: 105-119.