

doi: 10.6046/zrzyyg.2021227

引用格式: 王春霞,张俊,李屹旭,等. 复杂环境下 GF-2 影像水体指数的构建及验证[J]. 自然资源遥感,2022,34(3):50-58. (Wang C X,Zhang J,Li Y X,et al. The construction and verification of a water index in the complex environment based on GF-2 images[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2022,34(3):50-58.)

复杂环境下 GF-2 影像水体指数的构建及验证

王春霞¹, 张俊¹, 李屹旭², Phoumilay¹

(1. 贵州大学矿业学院, 贵阳 550000; 2. 贵州大学农学院, 贵阳 550000)

摘要: 高分二号(GF-2)影像的高空间分辨率有助于获得更为准确的水体分布信息。针对现有水体指数难以应对复杂环境、高空间分辨率的遥感影像水体提取时易出现“椒盐”现象的问题,基于GF-2影像进行了水体指数的构建及验证。首先,通过分析各地表覆盖物的波谱信息,构建了一种综合水体指数(comprehensive water index, CWI),并进行精度验证;其次,通过图像分割结合水体指数进行水体提取并进行精度验证;然后,为了充分利用光谱信息和发挥分类器的优势,将分割后同质对象的光谱信息与水体指数组合作为分类器的输入数据,进行水体提取并进行精度验证;最后,验证综合水体指数在WorldView-2影像和GF-1影像的适用性。经过研究可知:①新构建的综合水体指数在进行水体提取时,能够有效抑制阴影、建筑物、道路、植被、裸土等地表覆盖的影响,精度明显提高;②通过图像分割结合水体指数提取水体信息能有效抑制“椒盐”现象的产生;③分类器结合水体指数能有效提高水体提取精度;④综合水体指数同样适用WorldView-2影像和GF-1影像。综合分析,综合水体指数能够有效地提取水体信息,可用于河流、湖泊的提取和更新,池塘养殖面积的调查等,是一种高精度的水体提取方法。

关键词: 水体提取; 综合水体指数; 高分二号; 支持向量机; 随机森林

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2022)03-0050-09

0 引言

地表和地下水储量是水资源管理和陆地水循环研究的重要参数,与人类的生产和生活息息相关。其次水是重要的自然资源,在国家管理,规划发展、灾害评估、水利、灌溉等方面有着重要的作用^[1]。

近年来,基于遥感影像的水体提取方法众多,包括基于深度学习的方法^[2-4]、基于分类器的方法^[5-8]和利用水体指数的方法^[9-15]等。对于中低空间分辨率的光学遥感影像而言,由于波谱信息丰富,加上水体指数模型简单快捷的特点,故利用光谱信息构建水体指数提取水体信息依旧是研究的热点。

针对高空间分辨率遥感影像而言,影像波段数较少,大多只含有4个波段,故适用于高空间分辨率遥感影像的水体指数也较少。其中文献^[16-19]利用水体指数在国产高分卫星影像上进行水体信息的提取研究;文献^[20-21]将GF-2影像进行多

尺度分割,结合近红外波段设定阈值对水体信息进行提取;文献^[17]利用水体指数,同时结合改进的最大类间方差法(OSTU)结合鸡群算法(chicken swarm optimization, CSO)快速自适应地确定最佳分割阈值,进而得到最终的水体区域;文献^[22]利用水体指数和区域模糊C均值(fuzzy C-means, FCM)聚类算法的优点,提出一种整合水体指数和区域FCM的城市地表水体自动提取算法,该算法具有较高的水体提取精度,城市地表水体边界既具有较好的区域完整性又保持了局部细节,同时对城市地表水体复杂背景噪声具有较好的抑制作用,可有效减少传统FCM聚类算法的“椒盐”现象。综上所述,对于高空间分辨率遥感影像而言,通过构造水体指数提取水体信息的研究尚少,且研究成果表明,对于现有的水体指数模型而言,常常只考虑阴影及暗色地物等的影响,忽略了建筑物和亮色地物等地表覆盖的影响,故在进行水体提取时,常需要构造决策树对水体信息进行提取,需人为设定多个阈值,水体提取自动化程度低;其次,由于地物复杂,波段数较

收稿日期: 2021-07-28; 修订日期: 2021-11-06

基金项目: 贵州省科学技术基础研究计划项目“基于GPS的地壳弹性形变反演模型研究”(编号: 黔科[2017]1054)、国家自然科学基金项目“基于地表拓扑特征的无控制点矿山变形监测与预警”(编号: 41701464)和贵州大学研究生创新基地建设项目“测绘科学与技术研究生创新实践基地建设”(编号: 贵大研CXJD[2014]002)共同资助。

第一作者: 王春霞(1996-),男,硕士研究生,研究方向为遥感信息提取及反演。Email: 1821851037@qq.com。

通信作者: 张俊(1976-),男,博士,副教授,研究方向为现代测绘数据处理及应用。Email: jzhang13@gzu.edu.cn。

少,“同谱异物”现象更为明显,在水体信息的提取时,“椒盐”现象也更为严重。为此综合考虑复杂地表覆盖的影响,分析各种地表覆盖与水体的波谱特征,选取了红光波段、绿光波段和近红外3个波段构建了综合水体指数(comprehensive water index, CWI),并通过实验进行验证,为了抑制“椒盐”现象,采用将影像进行分割,再结合CWI对水体信息进行提取的方法,以期有效抑制“椒盐”现象的出现,较好地提取河流、湖泊、池塘等水体。

1 研究区概况及数据源

研究区位于贵州省中南部,地理位置为E106°37'~106°41',N26°5'~26°9',北邻贵阳,西及安顺,属喀斯特盆地地貌。研究区内地物类型多样,存在大量易与水体混淆地物,如阴影、低反射物和高反射建筑物等。

遥感数据为2016年11月10日获取的L1A级GF-2产品PMS1,影像覆盖无云、成像质量好,包含了多光谱和全色2种数据类型。其中多光谱数据有4个波段,分别为蓝(B1)、绿(B2)、红(B3)和近红外(B4)波段,空间分辨率为4m;全色波段空间分辨率为1m。数据的预处理包括辐射定标、大气校正、正射校正和图像融合过程,其中大气校正方法选择FLAASH大气校正,数据融合方法选择NNDiffuse Pan Sharpening数据融合,该数据融合方法要求多光谱影像空间分辨率为全色影像空间分辨率的4倍最佳,且响应函数重叠度较小。GF-2影像完全满足该要求,且该融合算法能够较好地保持数据的纹理、色彩和光谱信息,融合后影像空间分辨率为1m。

2 水体提取方法

2.1 光谱特征分析

在研究区内,地表覆盖物复杂,有植被、裸土、建筑物、道路、水体和高大的建筑物阴影等。在影像上均匀选取各样本的纯净像元,统计各类样本在各个波段的均值并绘制光谱曲线,光谱曲线如图1所示。水体在近红外波段的反射率均值低于其他地物在近红外波段的反射率;在可见光波段,水体的反射率普遍偏低,阴影和植被的反射率低于水体的反射率。其中在红光波段上,植被和阴影的反射率与水体的反射率差别较小;在绿光波段和蓝光波段上,植被和阴影的反射率与水体的反射率差别较大。对于清洁水体而言,在可见光—近红外波段,随着波长的增

加,反射率逐渐降低,但对于研究区内的水体而言,不再完全满足在可见光—近红外波段,随着波长的增加,反射率逐渐降低的特点,主要原因为水体的吸收与散射除了受水体自生的主导外,还受到水中的其他成分的影响,如当水中含有泥沙或叶绿素时,在其作用下,水体会呈现绿色或黄色甚至是黄棕色,此时的水体在相应的波段反射率将增加,故导致水体在各个波段的反射特点发生变化,不再满足清澈水体的反射特点^[23]。

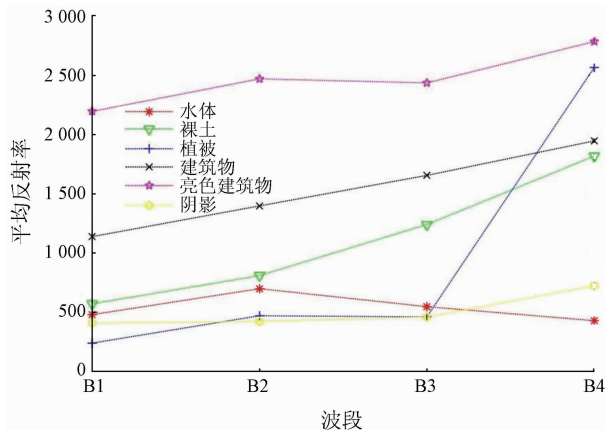


图1 各地物平均反射率波谱曲线

Fig. 1 Spectral curve of average reflectance of each surface feature

2.2 水体指数的构建

通过以上分析,选取蓝光、绿光和近红外3个波段构建水体指数模型。根据水体的波谱特征,为扩大水体与其他地表覆盖物的可分离度,将近红外波段的反射率的整数倍与蓝光波段和绿光波段的反射率之和做差,即 $(nB4 - B1 - B2)$,B1,B2和B4分别对应GF-2号影像的第一、第二和第四波段的反射率。不同倍数下,各地物的CWI分布如图2所示,当 $n=1$ 时,其实质为阴影水体指数(superfine water index, SWI),此时,建筑物和亮色建筑物与水体具有很大的重叠区域,不宜用于有建筑物区域的水体提取;当 $n=2$ 时,此时的水体指数受亮色建筑物的影响;当 $n=3$ 和 $n=4$ 时,此时的水体与其他地表覆盖物具有良好的可分离性,但随着 n 的增大,近红外波段所占的权重就越大,绿光波段和蓝光波段所占的权重就越小,且水体指数范围就越大,不利于充分利用光谱信息。其次,随着 n 的增大,即在 $n=3$ 的基础上不断地引入不同倍数的近红外波段,由于近红外波段具有一定的局限性,难以区分阴影和暗色地物,故对水体指数而言,将降低水体与其他地物的可分离度。故最终确定CWI模型为:

$$CWI = 3\rho_{NIR} - \rho_{GREEN} - \rho_{BLUE}, \quad (1)$$

式中 ρ_{NIR} , ρ_{GREEN} 和 ρ_{BLUE} 分别为该像元在近红外、绿

光和蓝光波段的反射率。

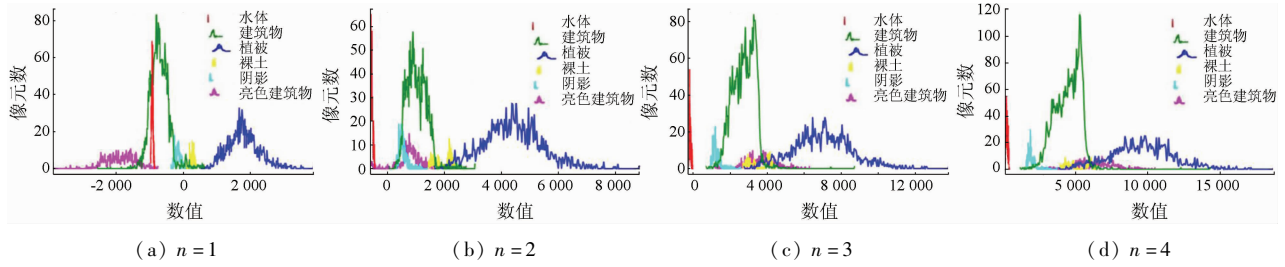


图 2 不同信数下各地物综合水体指数分布

Fig. 2 Distribution of water body index of various surface features

3 结果分析及精度验证

由于 GF-2 影像波段数较少,故可选用的水体指数模型较少。同时段秋亚等^[24]研究表明支持向量机(support vector machine, SVM)在 GF-1 影像提取水体中表现出良好的效果,故在验证过程中选用了现有的 5 种常用水体指数及 SVM 和随机森林(random forest, RF)2 种分类器进行水体提取分析,常用水体指数见表 1。由于卫星观测角度、卫星高度、光照条件、大气条件、环境噪声等的不同,阈值往往变化较大^[11,25-28]。故在实验过程中为了避免主

观选取阈值产生误差,故采用 K-mean 聚类算法结合水体指数提取水体,分类类别、变化步长和最大迭代次数分别取为 10,0.01,1 000,将分类后的水体区域合并,得到水体提取结果。文中选取了 4 个研究区,其中研究区 3 和 4 是为了验证 CWI 指数在其他高分辨率影像上的效果。各研究区特征见表 2。

表 1 常用水体指数

Tab. 1 Common used water indexes

模型名称	计算公式 ^①	来源
归一化差异植被指数	$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{RED} + \rho_{NIR})$	[27]
归一化差异水体指数	$NDWI = (\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}) / (\rho_{GREEN} + \rho_{NIR})$	[15]
阴影水体指数	$SWI = \rho_{BLUE} + \rho_{GREEN} - \rho_{NIR}$	[19]
改进的阴影水体指数	$MSWI = (\rho_{BLUE} - \rho_{NIR}) / \rho_{NIR}$	[6]
增强的阴影水体指数	$ESWI = (\rho_{BLUE} + \rho_{GREEN}) / (2\rho_{NIR})$	[28]

①式中 ρ_{RED} 为该像元在红光波段的反射率。

表 2 研究区特征

Tab. 2 Characteristics of the study area

研究区	影像来源	地表覆盖特征
研究区 1	GF-2	水体、植被、阴影、建筑物、裸土
研究区 2	GF-2	水体、植被、高大建筑物阴影、山体阴影、建筑物、裸土、高反射建筑物
研究区 3	WorldView-2	建筑物、池塘、裸土、阴影
研究区 4	GF-1	水体、旱地、低反射地物、蓝色屋顶房屋

3.1 研究区 1 水体提取分析

研究区 1 大小为 1 149 像元 × 1 487 像元,水体提取结果如图 3 所示,白色为水体区域,黑色为非水体区域,仅展示精度较高的几种提取结果。从结果来看,各种方法都能够很好地提取出水体区域,但 CWI 提取的水体信息更为完整,RF 模型和 MSWI 指数在水体区域的边缘上出现明显的漏提现象。SVM,MSWI 和 ESWI 在阴影区域均出现了误提的现象。精度评价选用总体精度和 Kappa 系数 2 个评价指标,精度评价结果见表 3。



(a) 原始图像

(b) CWI 提取结果

(c) SVM 提取结果

(d) RF 提取结果

图 3-1 研究区 1 水体提取结果

Fig. 3-1 Results of water body extraction in site 1

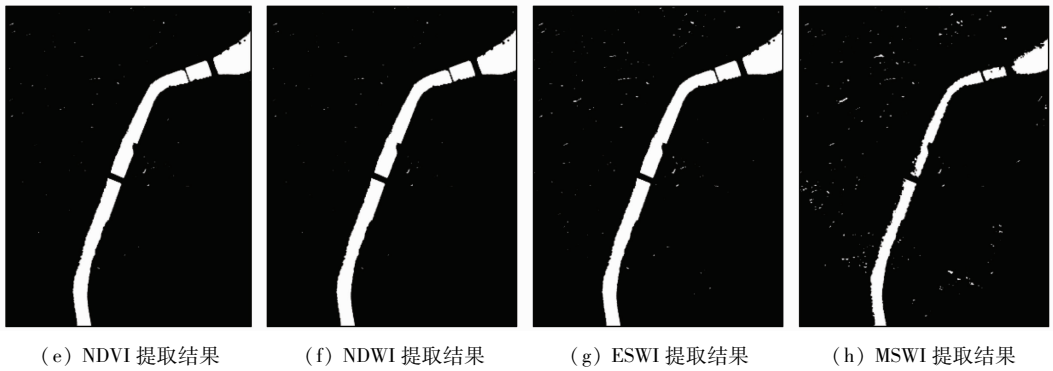


图 3-2 研究区 1 水体提取结果

Fig. 3-2 Results of water body extraction in site 1

表 3 研究区 1 精度评价结果

Tab. 3 Results of accuracy assessment in site 1 (%)

评价指标	NDVI	CWI	SWI	ESWI	NDWI	MSWI	SVM	RF
总体精度	99.65	99.95	90.15	99.34	99.66	95.93	99.62	99.75
Kappa 系数	98.83	99.83	72.62	97.82	98.86	85.46	92.21	94.42

3.2 研究区 2 水体提取分析

研究区 2 大小为 6 298 像元 × 9 912 像元,当研究区增大时,各水体指数均伴有“椒盐”现象的产生。针对上述问题,对图像进行分割,图像分割在 ENVI 平台上进行,自定义波段选择归一化水体指数和颜色空间,分割尺度为 15,合并尺度为 99,此时能够完整地分割出水体信息,在图像分割时,只考虑水体信息的分割效果,不对其他地物的分割情况进行评价,故无需复杂的分割算法。将分割后同质对象内的所有像元在相应波段上的均值作为该同质对象在相应波段上的反射率,本节中的实验所用数据若无特别说明,均为分割后的影像。将分割后的影像结合水体指数模型进行水体提取,结果如图 4 所示,白色为水体区域,黑色为非水体区域,仅展示精度较

高的几种提取结果。为了与未进行图像分割的水体提取结果做对比,图 4(f)展示了未进行图像分割的 CWI 模型提取结果。对于图像分割后的提取结果而言,CWI 模型提取结果最优,错提现象少;但对于池塘和水草茂密的区域,归一化水体指数和 CWI 均未能识别出来,主要原因在于水草茂密的区域,水体的反射率由水草主导,此时该区域在近红外波段的反射率增大,使水体指数失效;对于其他方法而言,均出现了严重的错提现象。出现错提现象的区域主要集中在地物复杂的居民区。对于未进行图像分割的水体提取结果而言,由于提取是针对单个像元进行的,故错提现象并未像基于对象那样大范围的出现。为了更加直观地展现提取的效果,将图 4(a)中的红框区域进行放大显示,结果如图 5 所示,白色的为水体区域,黑色为非水体区域。在该区域 CWI 模型和 SVM 均展现出了良好的提取效果;未进行图像分割的 CWI 提取结果略差于图像分割的 CWI 提取结果。精度评价选用总体精度和 Kappa 系数 2 个评价指标,精度评价结果见表 4。

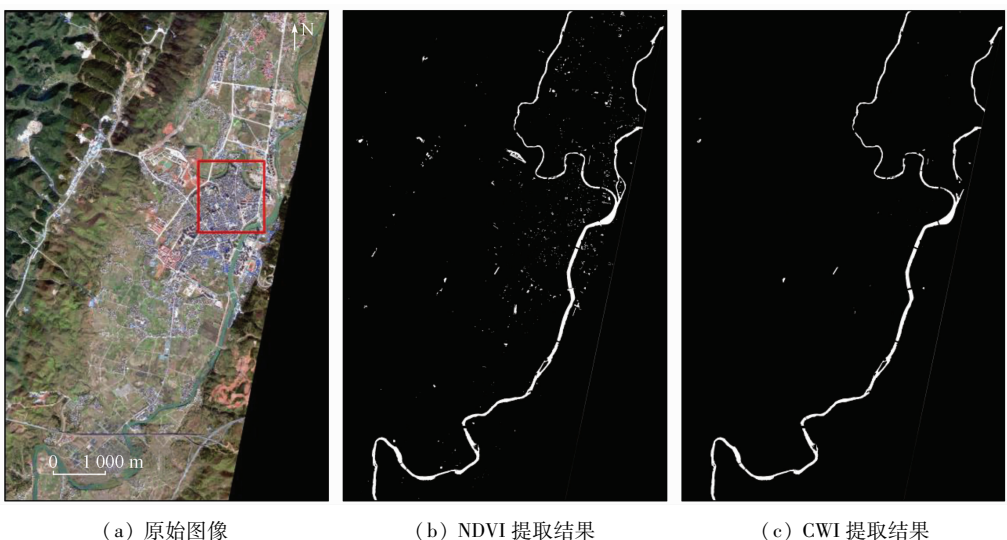


图 4-1 研究区 2 水体提取结果

Fig. 4-1 Results of water body extraction in site 2

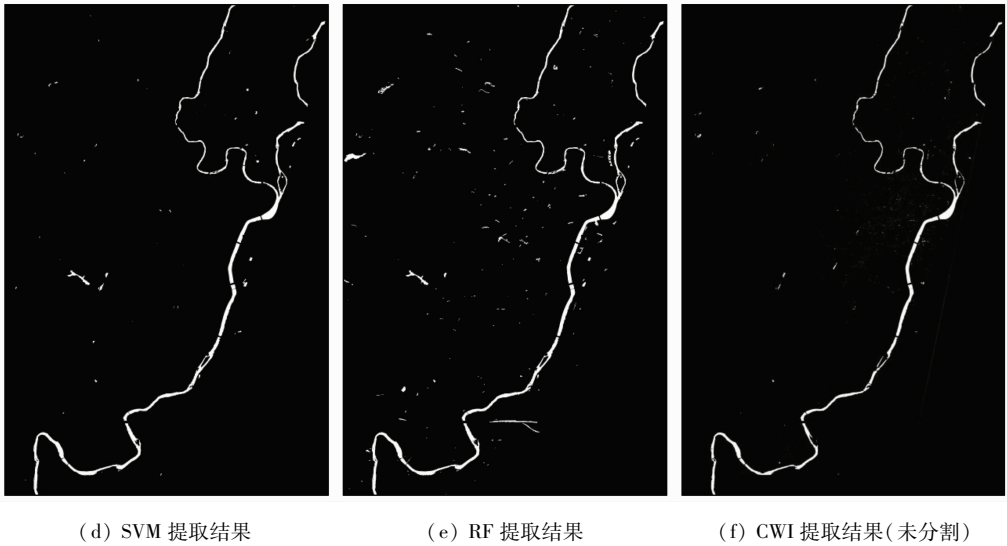


图 4-2 研究区 2 水体提取结果

Fig. 4-2 Results of water body extraction in site 2

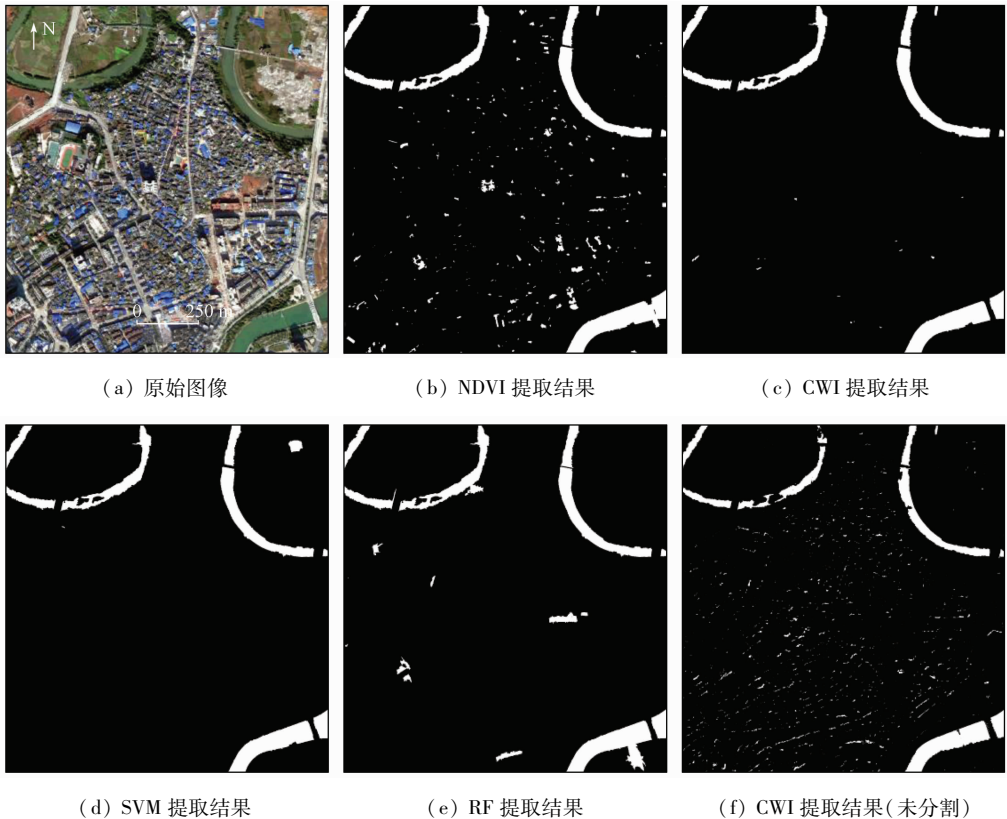


图 5 研究区 2 局部放大

Fig. 5 Enlarged view in site 2

表 4 研究区 2 水体提取精度评价结果

Tab. 4 Results of accuracy assessment in site 2 (%)

评价指标	NDVI	CWI	SVM	RF	NDWI	SWI	ESWI	MSWI
总体精度	99.33	99.97	99.94	99.67	99.33	93.80	98.49	99.43
Kappa 系数	45.31	94.86	90.70	63.14	45.31	0.08	0.26	49.18

3.3 多特征结合的水体提取分析

在 3.2 节的分析中,首先单独的水体指数模型和分类算法在水体提取时都具有一定的优势,其次经过

图像分割的水体提取结果优于未经过图像分割的水体提取结果。故为了更加充分地利用水体的波谱信息和发挥分类器的分类效果,在研究区 2 中,在图像分割的基础上,将水体指数和 4 个波段作为 RF 和 SVM 的输入数据进行水体提取,本节中,监督分类的样本数据和验证数据与 3.2 节中所用的数据相同。仅选用分类效果较好的 NDVI 和 CWI 作为参与的输入数据,其中 NDVI + 原始波段记为第一类数据,CWI +

原始波段记为第二类数据,NDVI + CWI + 原始波段记为第三类数据。水体提取结果如表 5 所示,白色为水体区域,黑色为非水体区域,对于同一输入数据,不同分类器而言,RF 的提取效果优于 SVM; 对于同一分类器,不同输入数据而言,输入第二类数据时,分类精度最高,当输入第三类数据时,输入数据增加,相比前两类输入数据而言,提取精度并没有得到提升。

表 5 不同数据组合水体提取结果
Tab.5 Water extraction results of different data combinations

分类方法	第一类数据	第二类数据	第三类数据
SVM			
RF			

对各方法的提取效果进行定量评价,采用总体精度和 Kappa 系数 2 个指标,结果见表 6。为了更加直观地展示水体提取效果,将最佳水体提取结果与原始影像进行叠加显示,结果如图 6 所示。

表 6 不同数据组合水体提取精度评价
Tab.6 Water extraction accuracy evaluation of different data combinations (%)

方法	评价指标	第一类数据	第二类数据	第三类数据
SVM	总体精度	99.98	99.98	99.98
	Kappa 系数	95.85	96.07	95.85
RF	总体精度	99.99	99.99	99.99
	Kappa 系数	98.44	98.78	98.17



图 6 研究区 2 水体提取结果

Fig.6 Result of water body extraction in Site 2

3.4 其他高分辨率影像水体提取分析

为了验证 CWI 在其他高分辨率遥感影像上的水体提取效果,选取了一幅数据融合后空间分辨率为 0.5 m 的 WorldView-2 遥感影像和一幅融合后分辨率为 2 m 的 GF-1 遥感影像进行实验。

WorldView-2 卫星能提供 8 个波段的高分辨率遥感影像,除了有和 GF-2 相同的 4 个波段外,还包括海岸波段、黄光波段、红色边缘波段和近红外 2 波段。研究区 3 取自经过预处理后分辨率为 0.5 m 的 WorldView-2 遥感影像,大小为 2 836 像元 × 2 326 像元。图像分割方式与研究区 2 相同,水体提取结果如图 7 所示,白色为水体区域,黑色为非水体区域,仅展示精度较好的几种水体提取结果。在图 7 中,NDVI 和 NDWI 对亮色地物存在误提的现象;其次,由于个别池塘水体较浅,为光学浅水区域,其中光学浅水区域指水底反射可以透射出水面并混淆在离水辐射中被传感器接收的水体;此时的水体所



(a) 原始图像 (b) 图像分割结果 (c) CWI 提取结果

图 7-1 研究区 3 水体提取结果

Fig.7-1 Results of water body extraction in site 3



(d) NDWI 提取结果

(e) NDVI 提取结果

(f) ESWI 提取结果

图 7-2 研究区 3 水体提取结果

Fig. 7-2 Results of water body extraction in site 3

反射由水底地物覆盖类型主导,故 CWI 出现了漏提现象;在该区域,由于缺少建筑物和阴影的影响,故各种方法均能够较好地提取出水体信息。对水体提取结果选用 Kappa 系数和总体精度进行定量评价,结果见表 7。

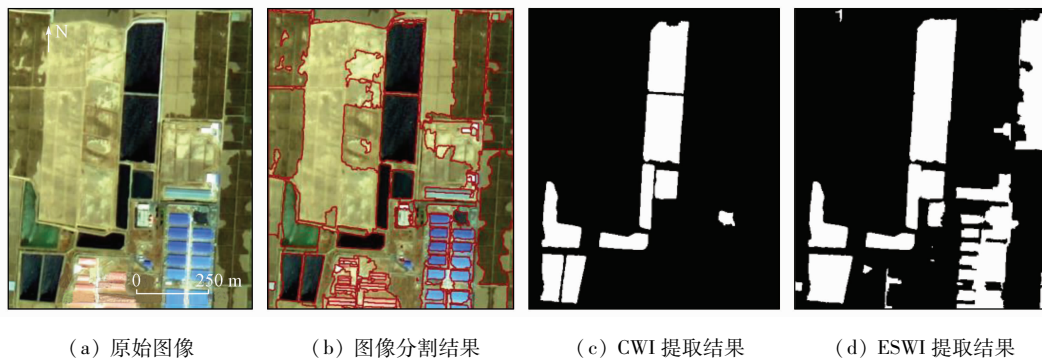
表 7 研究区 3 水体提取精度评价结果

Tab. 7 Results of accuracy assessment in site 3 (%)

评价指标	NDVI	CWI	NDWI	SWI	ESWI	MSWI
总体精度	98.12	99.30	99.42	94.86	99.33	96.05
Kappa 系数	85.46	94.62	95.66	70.53	94.97	75.83

GF-1 遥感影像,共有 4 个多光谱波段,分别为绿光、蓝光、红光和近红外波段,数据包括空间分辨率为 8 m 的多光谱波段和空间分辨率为 2 m 的全色

波段。实验均在经过融合后的空间分辨率为 2 m 的影像上进行,研究区大小为 426 像元 × 523 像元,地表覆盖物主要包含裸土、暗色地物、池塘和建筑物,图像分割方法与研究区 2 相同。水体提取结果如图 8 所示,白色为水体区域,黑色为非水体区域,仅展示精度较好的几种水体提取结果。NDWI 难以有效区分出水体信息,在裸土、暗色地物、建筑物等区域都出现误提的现象;其他水体指数模型均难以有效地提取出水体信息,主要原因在于该区域地物单一,存在大量暗色地物和蓝色屋顶的建筑物;对于 CWI 而言,能够完整地提取出水体信息,没有出现漏提和误提的现象。对水体提取的结果选用总体精度和 Kappa 系数 2 个指标进行定量分析,结果见表 8。



(a) 原始图像

(b) 图像分割结果

(c) CWI 提取结果

(d) ESWI 提取结果

图 8 研究区 4 水体提取结果

Fig. 8 Results of water body extraction in site 4

表 8 研究区 4 水体提取精度评价结果

Tab. 8 Results of accuracy assessment in site 4 (%)

评价指标	NDVI	CWI	NDWI	SWI	ESWI	MSWI
总体精度	74.37	100	78.71	78.37	80.93	80.93
Kappa 系数	36.09	100	38.46	52.37	61.39	61.39

4 结论

在本文的探究中,为了验证 CWI 模型的水体提取效果,结合图像分割和分类器进行水体提取实验。得出以下结论:

1) 本文构建的 CWI 模型能够抑制建筑物、阴影及亮色地物的影响,很好地提取出水体信息。总体精度和 Kappa 系数分别为 99.95% 和 99.83%,与其他方法相比,精度明显提高,Kappa 系数比 SVM 和 RF 分别高出 7.62 个百分点和 5.41 百分点。

2) 对于 CWI 而言,无论是单独使用,还是与图像分割或分类器相结合,同等条件下,精度均明显高于其他水体指数模型和 2 种分类器。

3) 图像分割结合 CWI 模型,能够有效抑制“椒盐”现象,提高水体提取精度。

4) CWI 模型还适用于 WorldView-2 和 GF-1

影像,具有较好的水体提取效果,水体提取精度明显高于其他水体指数,Kappa 系数高于 94.62%。

参考文献(References):

- [1] Yang C J, Wei Y M, Wang S Y, et al. Extracting the flood extent from satellite SAR image with the support of topographic data [C]// International Conferences on Info - Tech and Info - Net. IEEE Computer Society, 1998.
- [2] 何红术, 黄晓霞, 李红春, 等. 基于改进 U-Net 网络的高分遥感影像水体提取[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(10): 2010-2022.
- He H S, Huang X X, Li H G, et al. Water body extraction of high resolution remote sensing image based on improved U-Net network [J]. Journal of Geo-Information Science, 2020, 22(10): 2010-2022.
- [3] 梁泽毓, 吴艳兰, 杨辉, 等. 基于密集连接全卷积神经网络的遥感影像水体全自动提取方法[J]. 遥感信息, 2020, 35(4): 68-77.
- Liang Z Y, Wu Y L, Yang H, et al. Full-automatic water extraction method for remote sensing image based on densely connected full convolutional neural network [J]. Remote Sensing Information, 2020, 35(4): 68-77.
- [4] 陈前, 郑利娟, 李小娟, 等. 基于深度学习的高分遥感影像水体提取模型研究[J]. 地理与地理信息科学, 2019, 35(4): 43-49.
- Chen Q, Zheng L J, Li X J, et al. Water body extraction from high-resolution satellite remote sensing images based on deep learning [J]. Geography and Geo-Information Science, 2019, 35(4): 43-49.
- [5] Gulcan S, Mehmet O. Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey [J]. Journal of Taibah University for Science, 2017, 11(3): 381-391.
- [6] 王瑾杰, 丁建丽, 张成, 等. 基于 GF-1 卫星影像的改进 SWI 水体提取方法[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(1): 29-35. doi: 10.6046/gtzyyg. 2017. 01. 05.
- Wang J J, Ding J L, Zhang C, et al. Method of water information extraction by improved SWI based on GF-1 satellite image [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(1): 29-35. doi: 10.6046/gtzyyg. 2017. 01. 05.
- [7] 毛莹莹, 陈友飞. 基于面向对象法的 Landsat8 影像山区细小水体提取方法[J]. 亚热带资源与环境学报, 2015, 10(4): 86-92.
- Mao Y Y, Chen Y F. Water body extraction method based on object-oriented in mountainous area with Landsat8 image [J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2015, 10(4): 86-92.
- [8] 胡卫国, 孟令奎, 张东映, 等. 资源一号 02C 星图像水体信息提取方法[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(2): 43-47. doi: 10.6046/gtzyyg. 2014. 02. 08.
- Hu W G, Meng L K, Zhang D Y, et al. Method of water extraction from ZY-1 02C satellite image [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(2): 43-47. doi: 10.6046/gtzyyg. 2014. 02. 08.
- [9] 王小标, 谢顺平, 都金康. 水体指数构建及其在复杂环境下有效性研究[J]. 遥感学报, 2018, 22(2): 360-372.
- Wang X B, Xie S P, Du J K. Water index formulation and its effectiveness research on the complicated surface water surroundings [J]. Journal of Remote Sensing, 2018, 22(2): 360-372.
- [10] 杨树文, 李轶鲲, 刘涛, 等. 基于 SPOT5 影像自动提取水体的新方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(3): 308-314.
- Yang S W, Li Y K, Liu T, et al. A new automatic water body feature extraction method based on SPOT5 images [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015, 40(3): 308-314.
- [11] Gudina L F, Henrik M, Rasmus F, et al. Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery [J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 140(1): 23-35.
- [12] 沈占锋, 夏列钢, 李均力, 等. 采用高斯归一化水体指数实现遥感影像河流的精确提取[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(4): 421-428.
- Shen Z F, Xia L G, Li J L, et al. Automatic and high-precision extraction of rivers from remotely sensed images with Gaussian normalized water index [J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(4): 421-428.
- [13] 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.
- Xu H Q. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI) [J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5): 589-595.
- [14] Rogers A S, Kearney M S. Reducing signature variability in unmixing coastal marsh thematic mapper scenes using spectral indices [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(12): 2317-2335.
- [15] McFEETERS S K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [16] 段纪维, 钟九生, 江丽, 等. 基于 GF-2 影像的雨后洪涝区超绿水体指数提取方法[J]. 地理与地理信息科学, 2021, 37(3): 35-41.
- Duan J W, Zhong J S, Jiang L, et al. Extraction method of ultra-green water index for flood area after rain based on GF-2 image [J]. Geography and Geo-Information Science, 2021, 37(3): 35-41.
- [17] 邹橙, 杨学志, 董张玉, 等. 基于 GF-2 遥感影像的一种快速水体信息提取方法[J]. 图学学报, 2019, 40(1): 99-104.
- Zhou C, Yang X Z, Dong Z Y, et al. A fast water information extraction method based on GF-2 remote sensing image [J]. Journal of Graphics, 2019, 40(1): 99-104.
- [18] 谷金英, 晏明, 张晓娇, 等. 利用高分一号影像提取水体信息的方法研究[J]. 农业与技术, 2018, 38(11): 24-26, 109.
- Gu J Y, Yan M, Zhang X J, et al. Research on the method of extracting water information from gaofen-1 image [J]. Agriculture and Technology, 2018, 38(11): 24-26, 109.
- [19] 陈文倩, 丁建丽, 李艳华, 等. 基于国产 GF-1 遥感影像的水体提取方法[J]. 资源科学, 2015, 37(6): 1166-1172.
- Chen W Q, Ding J L, Li Y H, et al. Extraction of water information based on China-made GF-1 remote sense image [J]. Resources Science, 2015, 37(6): 1166-1172.
- [20] 王冬梅, 陈琳, 冯峰. 面向对象的 GF-2 影像水体信息提取研究[J]. 人民黄河, 2021, 43(5): 80-83, 90.
- Wang D M, Chen L, Feng F. Study on water information extraction from GF-2 image based on object-oriented method [J]. Yellow

- River, 2021, 43(5): 80–83, 90.
- [21] 黄帅, 丁建丽, 李艳华. 面向对象的国产 GF-1 遥感影像水体信息提取研究[J]. 人民长江, 2016, 47(5): 23–28.
Huang S, Ding J L, Li Y H. Study of water information extraction based on domestic GF-1 remote sensing image by using object-oriented method[J]. Yangtze River, 2016, 47(5): 23–28.
- [22] 洪亮, 黄雅君, 杨昆, 等. 复杂环境下高分二号遥感影像的城市地表水体提取[J]. 遥感学报, 2019, 23(5): 871–882.
Hong L, Huang Y J, Yang K, et al. Study on urban surface water extraction from heterogeneous environments using GF-2 remotely sensed images[J]. Journal of Remote Sensing, 2019, 23(5): 871–882.
- [23] 王胜蕾. 基于水色指数的大范围长时序湖库水质遥感监测研究[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所), 2018.
Wang S L. Large-scale and long-time water quality remote sensing monitoring over lakes based on water color index[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2018.
- [24] 段秋亚, 孟令奎, 樊志伟, 等. GF-1 卫星影像水体信息提取方法的适用性研究[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(4): 79–84. doi:10.6046/gtzyyg.2015.04.13.
- Duan Q Y, Meng L K, Fan Z W, et al. Applicability of the water information extraction method based on GF-1 image[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(4): 79–84. doi:10.6046/gtzyyg.2015.04.13.
- [25] Jain S K, Singh R D, Jain M K, et al. Delineation of flood-prone areas using remote sensing techniques[J]. Water Resources Management, 2005, 19(4): 333–347.
- [26] Zhang F, Li J, Zhang B, et al. A simple automated dynamic threshold extraction method for the classification of large water bodies from Landsat8 OLI water index images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2018, 39(11): 3429–3451.
- [27] Fieuzal R, Sicre C M, Baup F. Estimation of corn yield using multi-temporal optical and Radar satellite data and artificial neural networks[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2017, 57(1): 14–23.
- [28] 刘双童, 王明孝, 杨树文, 等. 基于 GF-2 高分辨率遥感影像的水体提取方法研究[J]. 全球定位系统, 2018, 43(6): 37–43.
Liu S T, Wang M X, Yang S W, et al. Research on water body extraction method based on GF-2 high resolution remote sensing image[J]. GNSS World of China, 2018, 43(6): 37–43.

The construction and verification of a water index in the complex environment based on GF-2 images

WANG Chunxia¹, ZHANG Jun¹, LI Yixu², PHOUMILAY¹

(1. College of Mining, Guizhou University, Guiyang 550000, China; 2. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550000, China)

Abstract: The high spatial resolution of GF-2 images helps to obtain more accurate water distribution information. This study constructed a water index based on GF-2 images and verified it, aiming to solve the problem that the salt and pepper noise is prone to occur when the existing water indices are used to extract information on water bodies in complex environments from high-resolution remote sensing images. Firstly, this study established a comprehensive water index (CWI) by analyzing the spectral information of surface coverings and verified its precision. Secondly, information on water bodies was extracted through image segmentation combined with the CWI, and the extraction precision was verified. Then, to fully utilize the spectral information and the advantages of a classifier, the spectral information on the segmented homogeneous objects and the CWI were combined as the input data of the classifier to extract information on water bodies and verify the extraction precision. Finally, this study verified the applicability of the CWI in both WorldView-2 and GF-1 images. The results are as follows. ① The newly constructed CWI can effectively suppress the impacts of surface coverings, such as shadow, buildings, roads, vegetation, and bare soil, thus significantly improving the extraction precision. ② Extracting information on water bodies through image segmentation combined with the CWI can effectively inhibit the occurrence of the pepper and salt noise. ③ A classifier combined with a water index can effectively improve the information extraction precision of water bodies. ④ The CWI is applicable to both WorldView-2 and GF-1 images. In sum, the CWI can be used to effectively extract information on water bodies and applies to the information extraction and renewal of rivers and lakes and the surveys of the cultivation area of pounds and thereby is a high-precision method for extraction information of water bodies.

Keywords: information extraction of water bodies; comprehensive water index; GF-2; support vector machine; random forest