

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2019. 01. 13

引用格式: 贾祎琳,张文,孟令奎. 面向 GF-1 影像的 NDWI 分割阈值选取方法研究[J]. 国土资源遥感,2019,31(1):95-100.  
(Jia Y L,Zhang W,Meng L K. A study of selection method of NDWI segmentation threshold for GF-1 image[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2019,31(1):95-100.)

# 面向 GF-1 影像的 NDWI 分割阈值选取方法研究

贾祎琳,张 文,孟令奎  
(武汉大学遥感信息工程学院,武汉 430079)

**摘要:** 以位于我国不同地区的 15 个湖泊为研究区域,基于高分一号(GF-1)卫星遥感影像计算归一化水体指数(normalized difference water index,NDWI),在此基础上分别采用迭代法、大津法和直方图双峰法选取分割阈值及提取水体信息,并分析 3 种方法的阈值选取结果及水体信息提取结果。研究表明:迭代法与大津法选取的阈值相近,与直方图双峰法选取的阈值相差较大;迭代法选取阈值的效率较高;直方图双峰法的提取精度最优,其提取的水域面积与参考面积拟合的效果最好。该研究可为 GF-1 影像的精准水体提取提供自适应阈值分割方法的选取策略。

**关键词:** GF-1 影像; NDWI; 自适应阈值; 水体提取

**中图法分类号:** TP 79   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1001-070X(2019)01-0095-06

## 0 引言

归一化水体指数(normalized difference water index,NDWI)是根据水体光谱反射特性,基于近红外波段与绿波段建立的归一化比值指数,在遥感影像水体提取中应用十分广泛。理论上,NDWI>0 表示地面有水或冰雪覆盖,NDWI=0 表示地面有岩石或裸土等覆盖,NDWI<0 表示地面有植被覆盖<sup>[1]</sup>,因而基于 NDWI 影像可以利用 0 值进行水体信息的提取。但在实际情况中,由于受到地物复杂性及噪声等条件的干扰,区分水体与非水体的阈值往往不为 0,这就需要对 NDWI 影像进行分析,选取合适的分割阈值对影像进行分割,以区分水体与非水体<sup>[2]</sup>。因此,使用 NDWI 进行水体信息提取的最终效果在很大程度上依赖于分割阈值的选取结果,阈值的好坏会直接影响到水体信息提取的精度。段秋亚等<sup>[3]</sup>针对高分一号(GF-1)卫星遥感影像,分别采用 NDWI 经验阈值法、支持向量机法和面向对象法对鄱阳湖区进行水体信息系统实验,以分析各种方法的优势和不足;陈文倩等<sup>[4]</sup>基于 GF-1 遥感影像,利用单波段阈值法、NDWI 阈值法与多波段法进行水体信息提取,通过分析 3 种方法的利弊,提出了

单波段阈值法与阴影水体指数相结合的决策树水体信息提取方法。但以上研究选取的分割阈值多是根据以往经验和反复实验确定的,容易受到时空差异与复杂环境的影响,对于类型或是面积不相同的水体,选取的阈值往往也不相同<sup>[5]</sup>。因此,这些方法不具备客观性与普适性,也不能实现水体的自动化提取。

目前,以 NDWI 灰度直方图为基础进行自适应阈值选取在水体自动化提取中越来越得到广泛的应用。袁欣智等<sup>[6]</sup>提出了基于大津法的局部范围阈值自适应确定的方法,并使用环境小卫星影像 NDWI 对闽江流域进行水体提取实验;徐蓉等<sup>[7]</sup>分别利用大津法和迭代法对波段插值模型、浮藻模型(floating algae index,FAI)以及 NDWI 和近红外波段模型计算阈值,以比较 3 种水体提取模型的应用效果。但以上研究多是以水体提取的整体过程,或是指数模型的对比分析为主,没有在 NDWI 模型的基础上对不同自适应阈值选取方法进行运行效率、提取结果等方面的具体研究。

为此,本文选取位于我国不同地区的 15 个典型湖泊水体作为研究区,在 NDWI 影像的基础上对迭代法、大津法和直方图双峰法 3 种常见的自适应阈值选取方法进行比较,分析其阈值选取结果、算法运

收稿日期: 2017-08-04; 修订日期: 2017-12-12

基金项目: 国家重点研发计划项目“国家水资源立体监测体系与遥感技术应用”(编号: 2017YFC0405806)资助。

第一作者: 贾祎琳(1992-),女,硕士研究生,主要从事水利遥感方面的研究。Email: JiaYL@whu.edu.cn。

通信作者: 孟令奎(1967-),男,教授,主要从事网络 GIS、水利遥感技术及应用方面的研究。Email: Lkmeng@whu.edu.cn。

行效率及其在 GF-1 卫星遥感数据水体识别方面的效果, 以期 GF-1 影像精准水体提取提供自适应阈值分割方法的选取策略。

# 1 研究区概况及数据源

## 1.1 研究区概况

我国湖泊水体众多, 其中面积在 1 km<sup>2</sup> 以上的湖泊就有 2 800 多个。然而, 由于我国地域辽阔, 因而湖泊的自然环境区域分异鲜明, 如青藏高原湖区和蒙新湖区的湖泊多表现为封闭的咸水湖或盐湖, 云贵高原湖区、东北平原与山地湖区和东部平原湖区的湖泊多表现为外流的淡水湖<sup>[8]</sup>。为了比较不同的自适应阈值选取方法在 NDWI 影像的基础上对不同湖泊水体的提取效果, 本文选取湖泊水体作为实验湖泊时主要遵循以下 3 个原则: ①湖泊具有一定的水面面积, 以便能够在 GF-1 WVF 影像上清楚地分辨出来; ②湖泊尽量广泛分布在不同的湖区, 以便能够代表各湖区湖泊的特征; ③湖泊数量较多的湖区多选实验湖泊, 湖泊数量较少的湖区少选实验湖泊, 以便实验湖泊能代表尽可能多的湖泊。本文最终选取的 15 个湖泊为: 查干湖、鄱阳湖、洞庭湖、洪泽湖、太湖、艾比湖、乌梁素海、博斯腾湖、呼伦湖、乌伦古湖、青海湖、纳木错、色林错、玛旁雍错和滇池。实验湖泊分布情况如表 1 所示。

表 1 实验湖泊分布情况  
Tab.1 Distribution of test lakes

湖区	实验湖泊
东北平原与山地湖区	查干湖
东部平原湖区	洪泽湖、太湖、鄱阳湖、洞庭湖
蒙新湖区	呼伦湖、乌梁素海、乌伦古湖、艾比湖、博斯腾湖
云贵高原湖区	滇池
青藏高原湖区	青海湖、色林错、纳木错、玛旁雍错

## 1.2 数据源及预处理

以 2016 年获取的各实验湖泊的 GF-1 WVF 1A 级多光谱影像为数据源。WVF 传感器包含蓝(B1)、绿(B2)、红(B3)和近红外(B4)4 个波段, 空间分辨率均为 16 m。

为保证湖泊水体信息提取的精度和速度, 本文对影像进行了辐射定标、大气校正、正射校正及裁剪等预处理。大气校正的目的是消除大气和光照等因素对地物反射的影响, 反演地物的真实反射率, 提高提取精度。另外本文各湖泊的裁剪范围都大于湖泊水体区域的 2 倍, 以保证在 NDWI 影像的直方图统计结果中能明显出现 2 个分别对应非水体与水体的波峰, 有利于提高分割阈值的选取精度。

# 2 研究方法

## 2.1 归一化水体指数模型

NDWI 于 1996 年由 McFeeters<sup>[9]</sup> 首次提出, 用于监测湿地环境中的地表水并测量地表水的范围, 现已广泛应用于遥感影像监测开放水域的过程中。NDWI 计算公式为

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} ,$$

(1)

式中 *Green* 和 *NIR* 分别为绿波段与近红外波段亮度值, 分别对应 GF-1 WVF 影像中的 B2 与 B4 波段。NDWI 值范围为 [-1, 1], 通过比值运算, 使水体得到最大的亮度增强, 非水体受到普遍的抑制, 从而达到突出水体的目的<sup>[10]</sup>。NDWI 用于水体分类时, 易受到山体阴影和薄云的干扰, 导致选取的分割阈值出现偏差, 影响分类精度。为了方便阈值选取、提高阈值选取精度, 本文将 NDWI 指数值范围由 [-1, 1] 拉伸至 [0, 2 000]。

## 2.2 自适应阈值选取模型

### 2.2.1 迭代法

迭代法主要利用了特征逼近的思想。不断更新子图像的直方图, 随着循环次数的增加, 越来越细地考虑影像的局部特性, 因此可以获得更精细的分割结果<sup>[11]</sup>。具体算法如下:

设影像的灰度范围为 [0, *T*], 对应灰度级 *T<sub>i</sub>* 的像素个数为 *f(T<sub>i</sub>)*, 则初始阈值 *t<sub>0</sub>* 为

$$t_0 = (0 + T)/2 .$$

(2)

根据 *t<sub>0</sub>* 将影像分割为目标 *A* 和背景 *B*, 则 2 部分的平均灰度值 *P<sub>A</sub>* 和 *P<sub>B</sub>* 分别为

$$P_A = \frac{\sum_{i=0}^{t_0} [T_i \times f(T_i)]}{\sum_{i=0}^{t_0} T_i} ,$$

(3)

$$P_B = \frac{\sum_{i=t_0+1}^T [T_i \times f(T_i)]}{\sum_{i=t_0+1}^T T_i} ,$$

(4)

其新的分割阈值 *t<sub>k</sub>* 为

$$t_k = (P_A + P_B)/2 .$$

(5)

如果 *t<sub>k</sub>* = *t<sub>k-1</sub>*, 则 *t<sub>k</sub>* 为所求得的阈值; 否则继续迭代, 直到满足 *t<sub>k</sub>* = *t<sub>k-1</sub>* 为止。

### 2.2.2 大津法

大津法又称最大类间方差法, 是由日本学者大津展之<sup>[12]</sup> 提出的, 其基本思想是: 取某个阈值, 将整幅影像分为目标与背景 2 部分, 使这 2 部分类间

方差最大的阈值即为影像分割的最佳阈值。类间方差最大说明 2 类之间的差别最大,也就意味着 2 类之间的错分概率最小。具体算法如下:

设影像的灰度范围为  $[0,T]$ ,对应灰度级  $T_i$  的像素个数为  $f(T_i)$ ,则影像总像素数  $N$  为

$$N = f(0) + f(1) + \cdots + f(T) = \sum_{i=0}^T f(T_i)。$$
 (6)

设  $P_i$  为影像中灰度级为  $T_i$  的像素出现的概率,即  $P_i = f(T_i)/N$ 。将影像中的像素按灰度级  $t$  划分为  $A$  和  $B$  2 部分,则 2 部分像素在整幅影像中出现的概率  $\omega_A$  和  $\omega_B$  分别为

$$\omega_A = \sum_{i=0}^t P_i，$$
 (7)

$$\sigma^2 = \omega_A(\mu_A - \mu)^2 + \omega_B(\mu_B - \mu)^2 = \omega_A \omega_B (\mu_A - \mu_B)^2。$$
 (12)

在  $[0,T]$  范围内,以 1 为步长依次递增阈值  $t$ ,最终使得  $\sigma^2$  达到最大值时的  $t$  即为最佳阈值。

2.2.3 直方图双峰法

直方图双峰法的基本思想是:当直方图具有较为典型的双峰特性时,选取 2 峰之间的谷底对应的灰度级作为影像分割阈值<sup>[13]</sup>。拉伸后的 NDWI 直方图会在 1 000 灰度级的左右两侧各出现一个波峰,其中在  $[0,1\ 000]$  灰度级区间的波峰代表非水体信息,在  $[1\ 000,2\ 000]$  灰度级区间的波峰代表水体信息。因此只需以 1 000 为界,分别找出 2 个灰度级区间内的波峰,然后进一步在这 2 个波峰对应的灰度级区间内找到波谷对应的灰度级,即可得到水体提取的阈值。当阈值对应直方图的波谷时,其细小差异只会导致 2 部分面积的略微变化,因此谷底阈值可以把阈值选择中出现的误差影响降到最低<sup>[14]</sup>。

3 实验结果分析

3.1 分割阈值选取结果分析

本文分别利用迭代法、大津法和直方图双峰法(以下简称为“双峰法”)对 15 个实验湖泊进行

$$\omega_B = \sum_{i=t+1}^T P_i = 1 - \omega_A，$$
 (8)

$A$  和  $B$  的平均灰度值  $\mu_A$  和  $\mu_B$  分别为

$$\mu_A = \sum_{i=0}^t i(P_i/\omega_A)，$$
 (9)

$$\mu_B = \sum_{i=t+1}^T i(P_i/\omega_B)，$$
 (10)

则整幅影像的平均灰度值  $\mu$  为

$$\mu = \sum_{i=0}^T T_i P_i = \omega_A \mu_A + \omega_B \mu_B，$$
 (11)

那么,类间方差  $\sigma^2$  为

$$\sigma^2 = \omega_A(\mu_A - \mu)^2 + \omega_B(\mu_B - \mu)^2 = \omega_A \omega_B (\mu_A - \mu_B)^2。$$
 (12)

阈值选取,得到的结果如表 2 和图 1 所示。可以得出:①整体上迭代法与大津法获取的分割阈值相近,而二者与双峰法得到的分割阈值相差较远;②咸水湖的分割阈值普遍比淡水湖的分割阈值高;③东部平原湖区分割阈值整体较低,蒙新湖区和青藏高原湖区分割阈值整体较高。

表 2 不同方法获得的各湖泊影像阈值					
Tab.2 Thresholds of lake images obtained by different methods					
湖泊	影像获取日期	迭代法	大津法	双峰法	湖泊类型
青海湖	20161003	983	967	938	咸水湖
纳木错	20161215	1 168	1 237	1 135	咸水湖
色林错	20161208	1 189	1 222	1 021	咸水湖
艾比湖	20160828	1 217	1 238	1 186	咸水湖
太湖	20161128	951	943	996	淡水湖
滇池	20161114	822	800	859	淡水湖
鄱阳湖	20161104	839	837	918	淡水湖
洞庭湖	20160725	849	824	813	淡水湖
洪泽湖	20160511	885	864	952	淡水湖
乌梁素海	20160992	934	920	1 114	淡水湖
查干湖	20160920	919	925	1 084	淡水湖
博斯腾湖	20160909	967	960	1 038	淡水湖
呼伦湖	20160410	1 021	920	986	淡水湖
玛旁雍错	20161111	1 076	1 062	920	淡水湖
乌伦古湖	20160881	1 092	1 065	1 002	淡水湖

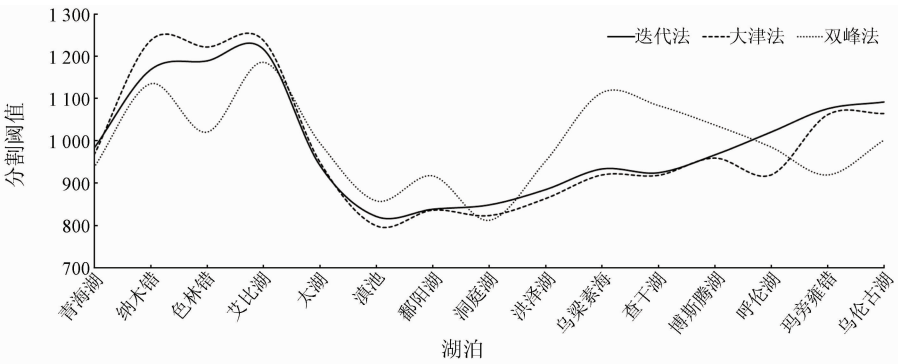


图 1 不同方法获取的各湖泊影像阈值关系  
Fig.1 Relationship between the image thresholds of lakes obtained by different methods

3.2 分割阈值选取效率对比

实验在 i7CPU,3.40 GHZ,内存为 24.0 GB 的计算机上进行,各算法均在 IDL 中编程实现。以运行 15 景湖泊影像数据,并计算其阈值选取过程总用时为一组实验,对 3 种方法各进行了 10 组实验;在此基础上,分别统计了各方法各组实验的最小用时和最大用时,以及 10 组实验的平均用时(表 3)。

表 3 不同方法阈值选取过程用时  
Tab.3 Time of different methods in threshold selection process (s)

方法	最小用时	最大用时	平均用时
迭代法	0.046	0.063	0.052
大津法	12.752	14.003	13.223
双峰法	7.500	8.174	7.878

从表 3 所示的各个用时统计数据来看,迭代法耗时最短,双峰法次之,大津法耗时最长。双峰法利用 IDL 已有函数寻找波峰和选取阈值,其效率主要依赖于 IDL 函数的运行效率;迭代法在选取阈值时,首先选择中间值作为初始阈值,而后再按规则循环迭代直至分割阈值不再变化为止,这样就大大减少了循环迭代的次数,极大地缩短了耗时;大津法从最小灰度值循环到最大灰度值,一次阈值选取任务则需要循环 2 000 次,因此耗时较长。

3.3 方法提取精度对比

为了比较在 NDWI 的基础上 3 种阈值选取方法对不同地物类型的提取精度,本研究在 15 个湖泊水域上共随机选取了 1 500 个检验点,分别比较各检验点的提取结果与目视解译结果,如表 4 所示(统计时将“冰”视为水体)。

表 4 不同方法提取结果混淆矩阵  
Tab.4 Confusion matrix of results extracted by different methods

地貌类型	迭代法		大津法		双峰法		总计
	水体	非水体	水体	非水体	水体	非水体	
水体	654	53	654	53	636	71	707
冰	8	16	7	17	23	1	24
滩涂	42	69	43	68	31	80	111
建筑	31	58	33	56	14	75	89
云	25	4	25	4	7	22	29
其他	40	500	46	494	36	504	540

由表 4 可知:707 个水体检验点中,迭代法、大津法和双峰法分类的正确个数分别为 654,654 和 636,说明 3 种方法都有不同程度的水体漏提现象,但双峰法的漏提情况最为严重;24 个冰层检验点中,3 种方法的分类正确个数分别为 8,7 和 23,说明双峰法对有冰层覆盖的水体提取效果较佳;111 个滩涂检验点中,3 种方法分类正确个数分别为 69,68

和 80,说明 3 种方法都出现了误提滩涂的现象,但迭代法与大津法更易误提滩涂;89 个建筑检验点中,3 种方法分类正确个数分别为 58,56 和 75,说明迭代法与大津法较易误提建筑;29 个云检验点中,3 种方法的分类正确个数分别为 4,4 和 22,说明双峰法对云的分类正确度更高。

参照目视解译结果评价 3 种方法的提取精度(表 5)。在水体提取结果中,实际为水体而被错分为非水体的检验点数与实际为水体的检验点数的比值称为“漏提率”;实际为非水体而被错分为水体的检验点数与实际为非水体的检验点数的比值称为“误提率”;分类正确的检验点数与所有检验点数的比值称为正确率。从表 5 中可以看出:大津法的误提率最高,迭代法次之,双峰法误提率最低;但双峰法的漏提率最高;从整体正确率上来看,双峰法优于迭代法与大津法。

表 5 不同方法提取精度

Tab.5 Extracting precision of different methods (%)			
指标	迭代法	大津法	双峰法
误提率	17.95	19.12	11.44
漏提率	9.44	9.58	9.85
正确率	86.20	85.53	89.33

为了更加全面地比较迭代法、大津法和双峰法得到的结果,本研究还在 ArcGIS 中针对每一个湖泊进行目视解译,得到各个湖泊的参考面积值,并计算以上 3 种方法所得的湖泊面积与参考面积之间的绝对差值,统计面积差值的最大值、最小值、平均值、总差值及标准差,如表 6 所示。可以看出,双峰法提取的水体面积与参考面积之间的差异最小,整体最稳定;迭代法与大津法的统计结果相差不大,但就整体误差及稳定性来看,大津法稍优于迭代法。

表 6 不同方法提取面积与参考面积绝对差值统计

Tab.6 Statistics of absolute differences between areas extracted by different methods and reference areas (km <sup>2</sup> )					
方法	最大值	最小值	总差值	平均值	标准差
迭代法	244.70	0.61	544.23	36.28	65.96
大津法	224.97	0.85	542.63	36.18	62.67
双峰法	190.58	0.23	353.24	23.55	47.62

图 2 为不同方法提取面积与参考面积的线性关系,可以看出:迭代法、大津法和双峰法获得的水体面积与参考面积之间呈显著的正相关关系,斜率分别为 1.041,1.038 和 1.030;各方法提取的湖泊面积与参考面积之间的拟合效果都较优,确定系数  $R^2$  分别为 0.997,0.997 和 0.999,其中双峰法面积与参考面积之间的拟合效果最好。

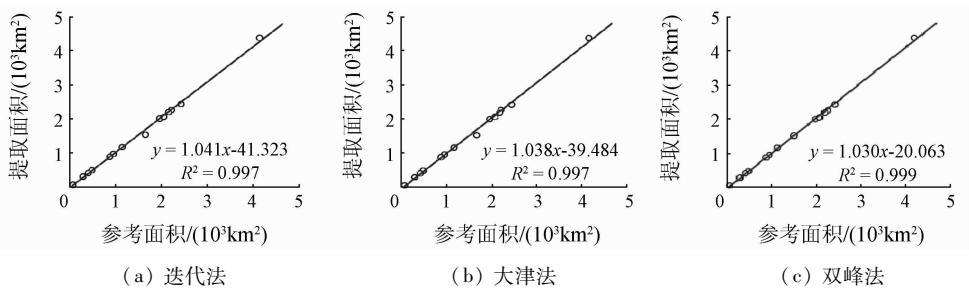


图 2 不同方法提取面积与参考面积的相关关系

Fig. 2 Relationship between areas extracted by different methods and reference areas

4 结论

针对水体指数模型结合阈值进行水体提取的过程中,如何选择自适应阈值分割方法的问题,本研究面向 GF-1 WFV 卫星遥感影像数据,针对我国 15 个典型湖泊的 NDWI 影像,分别采用迭代法、大津法和直方图双峰法 3 种自适应分割阈值选取方法进行特征阈值的选取及提取效率和效果的检验,得到以下结论。

1)整体上迭代法与大津法得到的阈值相近,而两者都与双峰法得到的阈值相差较远。阈值选取的结果与其湖泊湖水的状态有关:咸水湖阈值普遍比淡水湖阈值高;东部平原湖区分割阈值整体较低,而蒙新湖区和青藏高原湖区整体较高。

2)就阈值选取效率而言,迭代法 > 双峰法 > 大津法。

3)迭代法与大津法的漏提率比双峰法低,误提率比双峰法高,整体精度比双峰法低;双峰法提取的湖泊水体面积与参考面积之间的吻合度最高。

利用遥感数据有效地进行水体信息提取,已经成为当前水利遥感技术研究的重点内容之一。因此,在实际生产过程中,如果需要兼顾生产的效率与精度,则使用双峰法较佳。但在地貌类型较复杂时,这 3 种方法仍然得不到最理想的分割阈值,如何更好地选取分割阈值还有待今后继续探索。

参考文献 (References) :

[1] 吉红霞,范兴旺,吴桂平,等. 离散型湖泊水体提取方法精度对比分析[J]. 湖泊科学,2015,27(2):327-334.

Ji H X, Fan X W, Wu G P, et al. Accuracy comparison and analysis of methods for water area extraction of discrete lakes[J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(2): 327-334.

[2] 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. Methods of water extraction from ZY-1 02C satellite imagery[J]. Remote Sensing for Land

and Resources, 2014, 26(2): 43-47. doi:10. 6046/gtzyyg. 2014. 02. 08.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 简兴,陈鸿,邢忠亚,等. 利用遥感技术提取水体面积时水体类型对阈值的影响[J]. 科学技术与工程,2014,14(18):267-270,274.

Jian X, Chen H, Xing Z Y, et al. Influence of waterbody types on threshold of waterbody area extraction using remote sensing technology[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(18): 267-270, 274.

[6] 袁欣智,江洪,陈芸芝,等. 一种应用大津法的自适应阈值水体提取方法[J]. 遥感信息,2016,31(5):36-42.

Yuan X Z, Jiang H, Chen Y Z, et al. Extraction of water body information using adaptive threshold value and Otsu algorithm[J]. Remote Sensing Information, 2016, 31(5): 36-42.

[7] 徐蓉,张增祥,赵春哲. 湖泊水体遥感提取方法比较研究[J]. 遥感信息,2015,30(1):111-118.

Xu R, Zhang Z X, Zhao C Z. Different models used in extraction of lake water body based on MODIS data[J]. Remote Sensing Information, 2015, 30(1): 111-118.

[8] 马荣华,杨桂山,段洪涛,等. 中国湖泊的数量、面积与空间分布[J]. 中国科学(地球科学),2011,41(3):394-401.

Ma R H, Yang G S, Duan H T, et al. China's lakes at present: Number, area and spatial distribution[J]. Science China Earth Science, 2011, 41(3): 394-401.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 李琳琳. 遥感图像分割中阈值的自动选取技术研究[D]. 兰州:兰州大学,2012.  
Li L L. A Study on Auto – thresholding Selection Methods for Image Segmentation[D]. Lanzhou; Lanzhou University, 2012.

[12] Otsu N. A threshold selection method from gray – level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9 (1) :62 – 66.

[13] 杨修国. 图像阈值分割方法研究与分析[D]. 上海:华东师范大学,2009.  
Yang X G. Research and Improvement on the Histogram Bimodal Method[D]. Shanghai; East China Normal University, 2009.

[14] 韦玉春,汤国安,汪 闽. 遥感数字图像处理教程[M]. 北京:科学出版社,2015.  
Wei Y C, Tang G A, Wang M. Remote Sensing Digital Image Processing Tutorial[M]. Beijing: Science Press, 2015.

A study of selection method of NDWI segmentation threshold for GF – 1 image

JIA Yilin, ZHANG Wen, MENG Lingkui

( College of Remote Sensing Information Engineering , Wuhan University , Wuhan 430079 , China )

**Abstract:** Based on 15 lakes located in different regions of China, the authors calculated the normalized difference water index (NDWI) for GF – 1 satellite remote sensing images, and then employed iterative method, Otsu method and histogram bimodal method for segmentation threshold selection and water information extraction, and finally analyzed the threshold selection results and water information extraction results of the three methods. According to the results obtained, iterative method is similar to the threshold chosen by Otsu method, and the difference between the thresholds selected by histogram bimodal method is large; the iterative method is more efficient; the extraction accuracy of bimodal method is the highest, and its fitting effect is the best. This study can provide selection strategies of adaptive threshold segmentation method for extracting accurate water information from GF – 1 images.

**Keywords:** GF – 1 data; NDWI; adaptive threshold; water extraction

( 责任编辑: 张 仙 )