

基于遥感技术的鄱阳湖面积库容估算

刘东, 李艳

(南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093)

摘要: 首先使用基于图像间逻辑运算的水体提取方法提取出鄱阳湖水体; 然后将提取的水体转化为矢量格式并统计得到鄱阳湖面积; 最后, 将提取出的矢量水面节点处的高程值进行插值得到的水面高程图与 DEM 相减, 得到水深图, 再根据水深图和栅格大小便可得到鄱阳湖的库容。实验结果表明, 本文方法可以很好地提取出鄱阳湖水体, 对于鄱阳湖面积与库容的估算, 估算的结果与其他学者的结果相比偏大 11% 左右。文中提出的利用 TM 影像和 DEM 对鄱阳湖面积和库容进行估算的方法, 可作为水域动态监测的一个新思路。

关键词: 遥感技术; 鄱阳湖; 面积; 库容; 逻辑运算

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2012.02.011

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2012)120-0057-05

The Calculation of Area and Storage of Poyang Lake Based on Remote Sensing Technology

LIU Dong, LI Yan

(International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract: In this paper, firstly we extracted water body of Poyang Lake area based on the method Logic Operation which is used to extract water body between images. Then the grid-formatted files of water coverage were converted into vector-formatted ones and the area of Poyang lake was calculated by using attributes of the vector-formatted water. Finally water depth was generated by subtracting the elevation chart of water surface, which was got from the process of interpolation using DEM value at the vertices of the vector format water and DEM chart, and estimated the storage of Poyang Lake according to the elevation chart of water surface and cell size of the chart. Experimental results showed that the logical operation between images could be used for extraction of water body of Poyang Lake area well. Estimated area and storage of Poyang Lake were approximately 11% greater than other scholar's results. In this paper, we put forward the methods to estimate the area and storage of Poyang Lake using TM imagery and DEM, it is a new idea for dynamic monitoring of water area.

Key words: remote sensing technology; Poyang Lake; area; storage; logical operation

1 引言

鄱阳湖是目前我国最大的淡水湖,也是我国的大型湿地之一^[3],湿地是必须受到保护的非常重要的自然环境^[1]。湿地起着改善水的质量、为鱼和野生动植物提供居住场所、蓄洪、补给地下水、控制地表径流重要的作用。湖泊水文过程对湖泊湿地生态系统的结构和功能都有重要的影响作用,湖泊面

积和库容是湖泊水文特征的重要方面,研究湖泊面积和库容等湖泊水文特征对湿地生态系统的结构和功能都有重要的意义^[2]。当湖面高程 22m(吴淞基面,下同)时,湖面面积为 3993km²;湖面高程 11m 时,湖面面积仅 340km²,这对鄱阳湖淹没面积和库容的研究对鄱阳湖流域的调洪蓄洪有着重要的意义。

当前,不少学者提出了利用遥感光学影像或雷达影像来提取水体淹没的范围。Munyati 提出使用

收稿日期:2011-05-18 修订日期:2011-07-14

基金项目:生态系统固碳现状、速率、机制和潜力项目(No. XDA 05050106)。

作者简介:刘东(1987-),男,江西吉安人,南京大学国际地球系统科学研究所,硕士研究生,主要从事遥感与 GIS 应用研究。

E-mail: liudong6418sc@sina.com

多时相的影像数据集来探测湿地变化^[4]; Mcfeeters 提出利用归一化差异水体指数 (NDWI, $NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$) 提取影像中的水体^[5]; 针对 NDWI 在区分城区的水体和阴影方面的不足, 徐涵秋提出了改进的归一化差异水体指数 (NDWI, $NDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$)^[6]; 针对城区水体提取, 肖艳芳等^[7]通过分析 TM 中各地物在波段 1 和波段 7 的值及其之间的相关性, 提出了适用于城区影像水体提取的归一化比值法 ($(TM1 - TM7) / (TM1 + TM7) > k$); 杨莹等综合利用多波段谱间关系 ($TM2 + TM3 > TM4 + TM5$) 和单波段 TM5 建立起适合于平原湖泊水体的提取方法^[8]; 杨存建等提出利用和 LANDSAT TM 的互补信息确定洪水水体范围^[9]。对于水体的体积的估算, 也有一些学者提出一些方法, 雷声等人利用遥感影像提取出的水面面积和水位数据估算鄱阳湖的库容^[10]; 易波琳等提出先分别估算出枯水期湖容 (V1)、底水以上至漫滩水的湖容 (V2)、漫滩以上直至最高水位的湖容 (V3) 三个部分, 再计算总的湖容 $V = V1 + V2 + V3$ ^[11]。

鄱阳湖各个测站的水位变化同步性不一致^[10], 同一时间内不同站点得到的水位可能不同, 而以往关于库容的研究结果大部分建立的是某个测站水位与面积或库容的关系曲线, 一定程度上存在不可靠性。本文通过利用 TM 影像和 DEM 数据提取鄱阳湖的淹没范围, 利用水面矢量边界节点的高程值插值得到水面高程, 尽量地考虑了较多点的水位。通过实验发现, 文中所用的方法可以较好地提取整个鄱阳湖水体的水体, 从而估算出淹没面积; 再结合水域边界和区域 DEM 估算出鄱阳湖的库容。该方法表明, 根据获得的鄱阳湖的质量较好的影像, 充分利用计算机的处理能力, 便可以经济快捷地提取出鄱阳湖的淹没面积和库容。

2 研究区

鄱阳湖是目前我国最大的淡水湖泊, 也是我国的第二大湖, 位于江西省北部、长江南岸, 介于北纬 $28.24^{\circ} \sim 29.46^{\circ}$, 东经 $115.49^{\circ} \sim 116.46^{\circ}$ 之间。五河 (修水、赣江、抚河、信江、昌江) 及东河、西河、博阳河等诸河来水经鄱阳湖调蓄后, 由北面与长江的衔接处汇入长江, 即鄱阳湖起着调蓄的重要作用。一般情况下, 鄱阳湖年内水位变幅在 $9.79m \sim 15.36m$ 之间, 绝对水位变幅达 $16.69m$, 洪枯水位变幅大, 水位涨落频繁^[10]。枯水期水位下降, 洲滩裸露, 湖面仅剩几条

蜿蜒曲折的水道; 洪水期水位上升, 湖面陡增, 水面辽阔, 呈现出“枯水一线, 洪水一片”的自然景观。

由上可知, 鄱阳湖的水面淹没范围随时间的变化而发生着剧烈的变化。湖面高程 22m 时, 湖面面积为 $3993km^2$; 湖面高程 11m 时, 湖面面积仅 $340km^2$ ^[3]。为了估算鄱阳湖淹没面积和蓄水容积, 首先得定义鄱阳湖水域范围。根据 2003 年 5 月水利部水利水电规划设计总院关于全国水资源综合规划水资源分区, 鄱阳湖范围为: 修水永修水文站以下、赣江从外洲水文站以下、抚河李家渡水文站以下、信江梅港水文站以下、乐安河石镇街水文站以下、昌江古县渡水文站以下、至湖口县的湖口水文站。本文研究中为了简单起见, 将各个河流湖口以下至湖口县的湖口水文站, 去除人工围起来的湖水面积受外湖水位影响较小的新妙湖、珠湖、康山、禾斛岭、青岚湖、军山湖等湖泊之外的水域确定为需要估算的区域^[10]。

3 研究数据

本文研究中使用的数据是由马里兰大学遥感数据平台免费下载得到, 数据包中包括由 Landsat5 卫星上搭载的 TM (Thematic Mapper) 传感器于 2005 年 9 月 29 号获取的 30m 空间分辨率的光学遥感数据和影像覆盖区域 30m 空间分辨率的 GLS2005 (Global Land Survey 2005) DEM 数据, 数据生产商均为美国地质调查局 (USGS, United States Geological Survey)。通过查看数据及相关头文件, 影像数据已经经过了正射校正等相关处理, 影像数据和 DEM 数据已进行精校正。裁剪得到研究区的影像数据, 按 R:7、G:4、B:2 波段假彩色显示效果如图 1 所示。

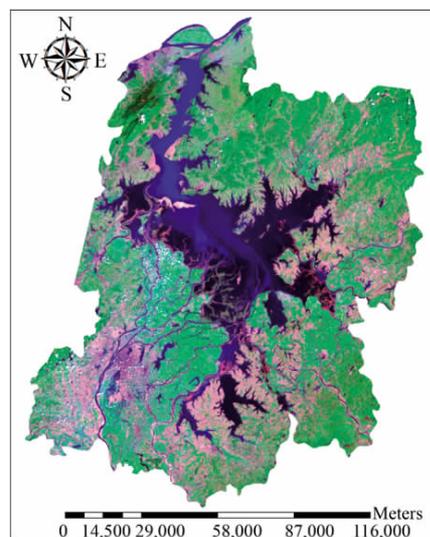


图 1 研究区 TM 影像

4 水体提取

4.1 逻辑运算

逻辑运算定为逻辑值 0 和 1 之间的运算, 包含逻辑非、逻辑与、逻辑或及由它们组成的混合运算。本文中, 用于提取 TM 影像中水体的逻辑运算过程如图 2 所示。

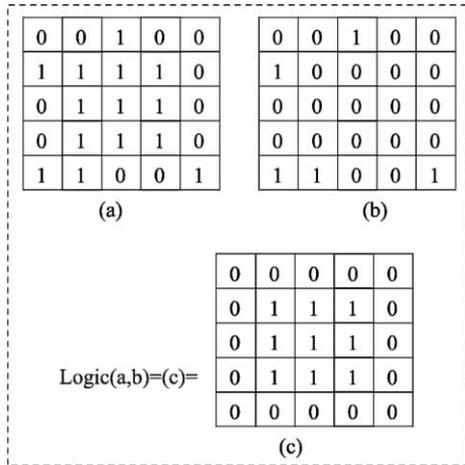


图 2 逻辑运算过程

其中图 2(a)、图 2(b)是逻辑运算输入的两幅同一区域的二值影像, 图 2(c)为运算输出的影像。对于图 2(a)、图 2(b)影像中对应的像元, 只有当两像元的值均为逻辑 1 时, 输出像元值为逻辑 0(表示非水体), 否则输出像元值和 a 影像的相同。

4.2 基于逻辑运算的水体提取

基于逻辑运算的水体提取, 首先通过 TM 影像提取出 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), 并对 NDVI 进行阈值划分得到水体的粗略二值图(water1, 1 表示水体或其他地物); 然后提取影像中的建筑用地 (buildings)、耕地 (plowland)、云 (cloud)、裸地 (bareland) 的二值图(二值图中的 1 表示提取出的各类地物); 最后利用 water1 依次和 buildings、plowland、cloud、bareland 进行逻辑运算得到水体的精准二值图 (water, 1 表示水体), 整个过程如图 3 所示。

图 3 中的 water2、water3、water4 均为提取出的粗略水体二值图(1 表示水体), 精度依次增加。

NDVI 被定义为近红外波段与可见光红波段数值之差和着两个波段数值之和的比值^[16], 对于 TM 影像, $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ (TM4、TM3 依次表示 TM 影像的 4 波段和 3 波段, 下同)。

建筑用地是指影像被人工建筑覆盖的用地, 包

括房屋、公路、广场等, 在用 TM 的 R:7、G:4、B:2 波段的假彩色图上显示为紫色。对于建筑用地二值图 (buildings), 本文使用式(1)提取 TM 影像中的建筑用地^[12], 式中 K 为一阈值。

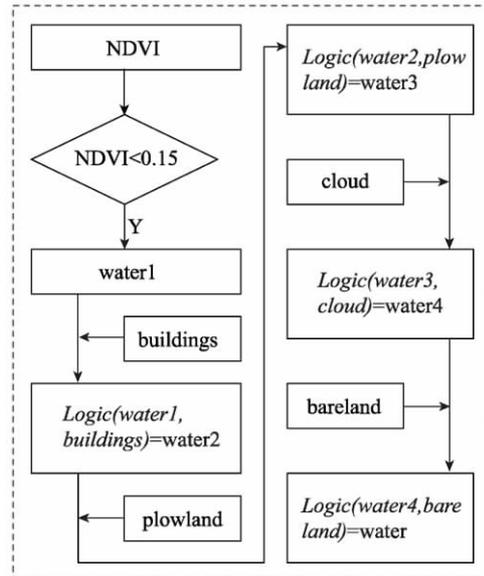


图 3 水体提取流程图

$$\begin{cases} |TM2 - TM4| < K \\ TM4 < TM5 \end{cases} \quad (1)$$

耕地是指用于种植农作物的土地, 在用 TM 的 R:7、G:4、B:2 波段的假彩色图上显示为浅绿色并有一定的纹理特征。本文使用式(2)提取 TM 影像中的耕地^[13], 式中 K1、K2、K3、K4、K5 为阈值。

$$\begin{cases} TM4 - TM3 > K1 \\ TM5 / TM4 > K2 \\ TM2 + TM3 + TM4 + TM5 + TM7 > K3 \end{cases} \text{ OR } \begin{cases} TM4 - TM3 > K1 \\ TM5 / TM4 > K4 \\ TM2 + TM4 + TM5 + TM7 > K5 \end{cases} \quad (2)$$

云一般为白色, TM 各波段云的反射率均较大, 因此云在用 TM 的 R:7、G:4、B:2 波段的假彩色图上显示为白色; 裸地是指没有植物生长的裸露地面, 在用 TM 的 R:7、G:4、B:2 波段的假彩色图显示为棕红色。选取云 (cloud)、混浊水 (water_1)、清澈水 (water_2)、裸地 (bareland)、阴影 (shadow) 的感兴趣区, 并统计各地物在 TM 各波段 DN (Digital Number) 值的均值, 折线图如图 4 所示。

通过分析图 4 中各地物的在各波段的平均 DN 值, 得出可以用下面两个公式来提取影像中的云和裸地的二值图(1 表示云或裸地), K6 为阈值。

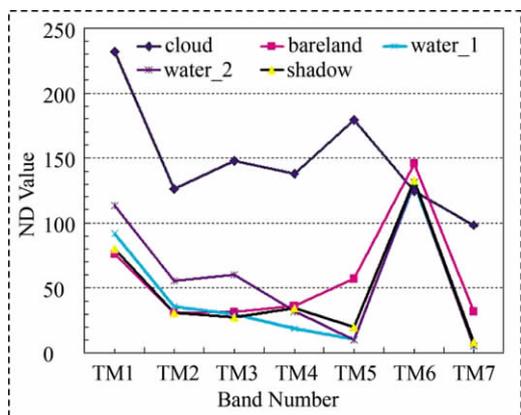


图 4 地物在各波段的 DN 均值

$$TM1 + TM2 + TM3 + TM4 + TM5 > K6 \quad (3)$$

$$\begin{cases} TM5 > TM4 \\ TM4 > TM3 \end{cases} \quad (4)$$

5 淹没面积及库容估算

图 5 中过程①将提取得到的水体图(water)转为矢量格式的水体,并去除研究区范围之外的水体后得到 water_polygon;过程②计算 water_polygon 并求和得到水体淹没面积 S;过程③为提取 water_polygon 矢量边界的节点,得到 points;过程④为将节点所在位置 DEM 的高程赋为节点的属性;过程⑤为使用节点的高程值通过 kriging 插值得到水面的高程(即水面到绝对基准面的距离) water_elevation;过程⑥将水面高程减去 DEM 高程,得到水深 water_depth;过程⑦为统计水体栅格图得到库容 V;过程⑧为计算所有节点的平均 DEM 高程,得到整个区域的平均水位 H。

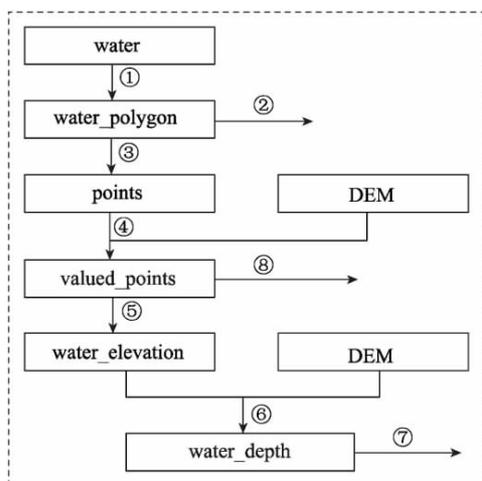


图 5 面积和库容估算流程图

通过上面介绍的基于逻辑运算的水体提取方法提取出影像中的水体 water(二值图,1 表示为水体,0 表示为非水体),再按图 5 所示的流程图计算得到矢

量的 water_polygon 和栅格的水体_height,通过 water_polygon 和栅格的水体_height 的属性表和相关像元的大小便可以计算得到水体的淹没面积和库容。

6 实验结果及精度分析

6.1 水体提取结果及精度分析

依照图 3 的流程图,首先,使用公式 $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ 获得 NDVI 后根据 NDVI 是否小于 0.15 得到 water1。然后,当 $K = 10$ 时,使用公式(1)可得到 buildings;当 $K1 = -1, K2 = 1.06, K3 = 360, K4 = 1.12, K5 = 228$ 时,根据公式(2)可得到 plowland;当 $K6 = 400$,根据公式(3)可以得到 cloud;使用公式(4)可得到 bareland。最后,根据图 3 所示的过程进行定义的逻辑运算可以提取出二值化的水体 water。将 water 转化为矢量格式并去除研究范围之外的水体如图 6 所示。

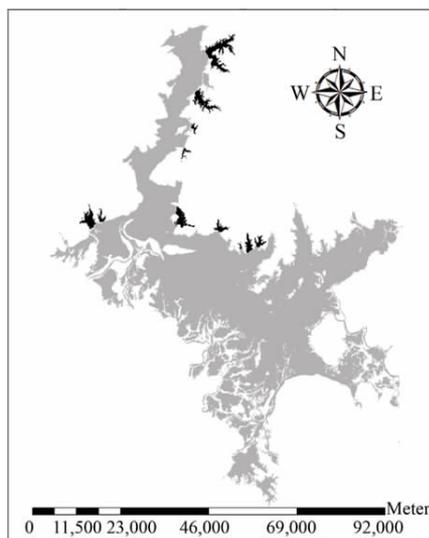


图 6 鄱阳湖水体

本文使用随机抽样的方法进行人机交互验证水体的提取精度。在水体二值图 water 上随机的选取 300 个点,依次验证每个点的提取结果正确与否,统计得到的生产者精度、全局精度、用户精度、水体提取的 Kappa 系数如表 1 所示。

表 1 水体提取精度统计

结果	参考数据		像元总数	用户精度(%)
	水体	非水体		
水体	58	5	63	92.06
非水体	3	234	237	98.73
生产者精度(%)	95.08	97.91	300	
	全局精度(%)		97.33	
	水体 Kappa 系数		0.9004	

由表 1 可得,使用本文提出的方法可以较好地提取出 TM 影像中的水体。

6.2 鄱阳湖面积库容的估算及精度分析

根据图 5 的过程②和⑧可以得到鄱阳湖水体淹没面积 $S=2544.17\text{km}^2$,平均水位 $H=12.04\text{m}$ 。而根据齐述华等人基于数字高程模型模拟得出的鄱阳湖水位和面积的关系式^[2](式(5))计算得到的结果 $S1=2276.101\text{km}^2$ 。比较 S 和 $S1$ 可得,通过文中所提方法提取的鄱阳湖面积略高 11.78%。

$$S1=3367.7\ln(H)-6103.1 \quad (5)$$

根据图 5 的过程⑦可以得到鄱阳湖库容 $V=38.86 \times 108\text{m}^3$ 。而雷声等人^[10]得出的鄱阳湖水位和最低水位的库容微分计算得到的结果 $V1$ 约为 $35 \times 108\text{m}^3$ 。比较 V 和 $V1$ 可得,通过文中所提方法提取的鄱阳湖库容略高 11.03%。

由上可得,通过文中所提的方法,提取的鄱阳湖的湖面面积和库容均比相关学者估算的结果高出 11%左右,其原因可能是水域范围的划定不同,本文将图 6 中颜色较深的水体(周边湖泊)而实际上与灰色水体无直接关联的水体确定为鄱阳湖水体;另一方面原因来自获取的 DEM 的精度,对于湖泊等水域,目前尚无精确的 DEM^[15]。鄱阳湖区域的最低高程为 -7.5m ,而文中所用的 DEM 有 32 个像元低于该数值,造成计算的库容偏大;此外,可能还有一些其他的原因造成对鄱阳湖面积和库容估算的结果偏大。

7 结论和展望

本文使用研究区的 TM 影像通过各种提取方法得到粗略水体(water1)、建筑用地、耕地、云、阴影的二值图,然后再进行图像间的逻辑运算得到研究区的精确水体图(water)。结果表明,通过文中介绍的水体提取方法可以很好地提取出鄱阳湖区域的水体,提取结果的用户精度为 92.06%、生产者精度为 95.08%、Kappa 系数为 0.9004。文中所提的基于图像间逻辑运算提取水体的方法同样也适合于建筑用地等光谱异质地物的提取。

根据提取的水体,可以估算鄱阳湖的淹没面积;根据提取的水体结合 DEM 数据可以估算鄱阳湖的库容,提取的结果与相关学者的结果比较均偏大 11%左右。下一步的研究将针对可能造成估算偏大的原因进行进一步的研究、确定,以期得出更为精确的估算方法。

由实验的结果可得,根据获取的 TM 影像和对应区域的 DEM 数据可以经济、快捷地估算出鄱阳湖的淹没面积和库容。Landsat TM 传感器每隔 16 天可获得同一区域的 TM 影像,利用获得的 TM 影像,根据文中所提的方法,估算不同时间鄱阳湖的淹没面积和库容,可以动态监测鄱阳湖淹没面积和库容。此外,结合文中的平均水位 H ,也可得到水位 H 和淹没面积 S 、水位 H 与库容 V 的关系曲线。

参考文献

- [1] Williams M. Protection and Retrospection In Wetlands[M]. Oxford:Blackwell,1990:325-353.
- [2] 齐述华,顾中宇,姜鲁光,等.基于数字高程模型的鄱阳湖淹水范围制图研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2010,35(7):857-862.
- [3] 程永建,张俊才.鄱阳湖水文气候特征[J].江西水利科技,1991,17(4):291-296.
- [4] Munyati C. Wetland change detection on the Kafue Flats,Zambia,by classification of a multi-temporal remote sensing image dataset[J]. International Journal of Remote Sensing,2000,21(9):1786-1806.
- [5] McFetters 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提取水体信息的研究[J].遥感学报,2005,9(5):589-595.
- [7] 肖艳芳,赵文吉,朱琳.利用 TM 影像 Band1 与 Band7 提取水体信息[J].测绘科学,2010,35(5):226-227.
- [8] 杨莹,阮仁宗.基于 TM 影像的平原湖泊水体信息提取的研究[J].遥感信息,2010,3(13):60-64.
- [9] 杨存建,周成虎.利用 RADARSAT SWA SAR 和 LANDSAT TM 的互补信息确定洪水水体的范围[J].自然灾害学报,2001,10(2):79-83.
- [10] 雷声,张秀平,许新发.基于遥感技术的鄱阳湖水体面积及容积动态监测与分析[J].水利水电技术,2010,41(11):83-90.
- [11] 易波琳,李晓斌.洞庭湖面积容积与水位关系及调蓄能力评估[J].湖南地质,2000,19(4):267-270.
- [12] 杨存建,周成虎.TM 影像中的居民地信息提取方法研究[J].遥感学报,2000,4(2):146-150.
- [13] 祝民强,周万蓬,吴仁贵,等.赣中丘陵区 TM 影像的耕地信息提取模型研究[J].遥感技术与应用,2004,19(3):173-176.
- [14] 齐述华,龚俊,舒晓波,等.鄱阳湖淹没范围、水深和库容的遥感研究[J].人民长江,2010,41(9):35-38.
- [15] Fengming HUI,Bing XU,et al. Modeling spatial-temporal change of Poyang Lake multi-temporal Landsat imagery[J]. International Journal of Remote Sensing,2008,29(20):5767-5784.
- [16] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2009:374-376.