

基于 MODIS 数据的百色水利枢纽水库水域提取研究

Extraction of Water Area of Baise Multi-purpose Dam Reservoir Based on MODIS Data

黄开顺¹, 黄世精², 梁建德²

HUANG Kai-shun¹, HUANG Shi-jing², LIANG Jian-de²

(1. 广西大学林学院, 广西南宁 530005; 2. 广西百色电力有限责任公司, 广西百色 533000)

(1. Forestry College of Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530005, China; 2. Guangxi Baise Power Co. Ltd., Baise, Guangxi, 533000, China)

摘要: 利用2006年11月4日的美国 EOS-MODIS/TERRA 卫星的 MODIS 遥感数据, 采用图像差值运算和阈值法提取百色水利枢纽水库蓄水后的水域范围, 统计像元数计算水域面积。结果表明, 在差值图像上, 水域具有较高的灰度值, 表现为灰白色或白色, 而陆地具有较低的灰度值, 表现为灰黑色到黑色的过渡变化, 水陆边界较为清晰, 可以用于水域的目视判别和阈值的选定; 提取出的百色水利枢纽库区水域呈树枝状分布, 蓄水后形成一个大型人造湖泊, 湖泊内形成多个岛屿, 提取出的水域面积为167.875 km²; 受 MODIS 空间分辨率的限制, 对于实际较细小的线状水域, 提取出来的结果出现不连续现象。

关键词: 水域提取 水体遥感 MODIS

中图法分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2007)04-0426-04

Abstract: Based on the remote sensing data of MODIS which received from the satellite of EOS-MODIS/TERRA of USA in November 4th, 2006, the water area of Baise Multi-purpose Dam Reservoir was extracted. The methods of image differential algorithm and threshold were used. The area was computed by counting pixels. The result demonstrates that on the difference image, the gray intensity of water area are higher than the gray intensity of land, and the water area display as gray-white or white, while the land display as transition color from gray-black to black. The boundary of water and land is clear, it is possible to distinguish water area and select the threshold value. The shape of water area of Baise Multi-purpose Dam Reservoir is like dendritic, it is a big lake after impoundment, and there are several islands inside. The result of extraction of water area is 167.875km². Because of the restriction of resolution of MODIS, for the narrow and small water area, the result of extraction is not in a row.

Key words: water area extraction, water body remote sensing, MODIS

右江百色水利枢纽^[1]是珠江流域西江水系郁江综合利用规划中的第二梯级, 于2001年9月正式开工建设, 2005年8月26日正式下闸蓄水, 水库淹没区涉及广西壮族自治区的百色市、田林县和云南省的富宁县, 库区及其周边的地理位置大约在23°46'~24°13' N, 105°57'~106°30' E 范围内, 是一个以防洪为主, 兼有发电、灌溉、航运、供水等综合利用的大型水利枢纽, 对减轻下游的洪水和干旱灾害、改善流域生态环境

境及促进社会经济可持续发展等都具有极其重要的意义。

从遥感信息中快速、准确地提取水体信息已经成为水资源调查与管理的重要手段。20世纪70年代以来, MSS、TM、SPOT 等卫星遥感数据在我国水资源监测方面得到了广泛的应用与研究^[2~4]。新近发展的 MODIS 遥感数据, 为水资源监测提供了一种新的遥感信息源^[5], 其各方面的应用与研究得到了快速的发展^[6,7]。水域覆盖面积是水库管理部门了解水库水资源现状的一个重要参数, 本文利用 MODIS 遥感数据对百色水利枢纽库区蓄水后的水域范围进行提取实验研究, 以简便快捷地测算库区水域的面积, 旨在为

收稿日期: 2007-04-09

修回日期: 2007-06-22

作者简介: 黄开顺(1980-), 男, 硕士研究生, 主要从事遥感(RS)和地理信息系统(GIS)在国土资源与生态环境监测中的应用研究。

水资源管理部门快速监测水库水资源状况提供一种科学有效的方法。

1 数据来源和研究方法

1.1 数据来源

本文所用数据为2006年11月4日美国EOS-MODIS/TERRA卫星的MODIS遥感数据,包括MOD02QKM和MOD02HKM这两种数据产品,数据格式为HDF格式。当日时段百色水利枢纽库区上空无云,卫星成像质量很好。MOD02QKM数据包含MODIS 36个波段中的第1和2波段数据,MOD02HKM数据包含MODIS 36个波段中的第3~7波段数据^[8]。

1.2 研究方法

1.2.1 MODIS数据预处理

MODIS数据产品包含有地理坐标(经纬度信息),但是科学数据和地理数据还没有连接,直接显示时边缘存在“蝴蝶结”(Bow-tie)现象,主要是由于卫星传感器扫描时像元大小受到扫描角度和地球曲率的影响,从星下点向扫描方向延伸,像元尺寸逐渐变大,发生几何形变,使得相邻像元影像重叠,且越靠近边缘变形越严重,重叠也越严重^[9]。因此要进行MODIS数据预处理。MODIS数据预处理包括去除Bow-tie、投影系统设置、几何纠正和工作区剪裁。由于MOD02QKM和MOD02HKM数据集包含有经纬度信息,所以不用采集地面控制点即可达到几何纠正的目的。利用ENVI4.2图像处理软件的“Map/Georeference MODIS”即可进行投影系统设置和几何纠正,其中坐标体系为WGS-84,投影类型为Geographic Lat/Lon,同时使用“Perform Bow Tie Correction”进行Bow-tie校正。本次选用的MODIS影像数据覆盖至广西沿岸线,所以选用1:250000广西行政区划矢量图与之前几何纠正过的MODIS影像在ENVI4.2环境中叠加显示,发现海岸线吻合状况良好,几何校正的误差在0.5个像元以内。最后进行工作区剪裁,减小数据量,以提高计算机图像处理的速度。

1.2.2 图像假彩色合成

在MODIS的第7波段(2.105~2.155 μm),水体、土壤和植被的反射率差别非常明显,表现为土壤具有较高的反射率,植被的反射率较低,而水体的反射率几乎为零,若利用此波段和第1波段(0.620~0.670 μm)、第2波段(0.841~0.876 μm)进行假彩色合成图像,则图像上的水体、土壤和植被之间具有明显的色彩差异,符合人体目视判别^[10]。因此,本次研

究选用MODIS的7、2、1波段数据分别赋予红(R)、绿(G)、蓝(B)进行假彩色合成影像图,用作下一步进行人机交互判识的辅助资料。在假彩色影像图上,蓝色(或)黑色、绿色及暗红色分别反映水体、植被及城市等信息,水域边界得到较为直观的显示。在进行假彩色合成时,由于第7波段的空间分辨率为500 m,需要对其进行分辨率重采样才能实现与第1、2波段数据的融合。融合的方法是利用ENVI 4.2图像处理软件的“Layer Stacking”功能,选取250m作为中心点分辨率,选用双线性插值算法实现两种分辨率HDF数据的融合,最后生成一个含有3个波段、分辨率为250 m的HDF数据文件。

1.2.3 图像差值运算

不同地物的反射率差值不同,在差值图像^[11]上,差值大的地物得到突出,从而被识别。水体在MODIS的第1和2波段上的反射率差异,比植被和土壤在第1和2波段上的反射率差异要大得多,这时采用第1、2波段的差值增强方案来扩大影像图上水体和陆地的光谱差异,差值计算模型为

$$D = \text{float}(B1) - \text{float}(B2), \quad (1)$$

其中: D 为差值,即差值图像上像元灰度值; $B1$ 、 $B2$ 分别表示MODIS第1、2波段的单波段图像像元灰度值; $\text{float}()$ 为ENVI/IDL语言的浮点型数据类型定义。

利用(1)式计算后,差值图像的像元值如果出现负值,这样将超出显示设备允许的动态范围(一般为0~255),因此就需要对(1)式进行调整,以确保像元值在显示设备的动态范围之内。调整的方法是在差值图像中找到绝对值最大的负值,给每个像元的值都加上这个负值的绝对值,使所有的像元值都为非负数,再乘以一个正数,使像元值变化在0~255范围之内。据此,(1)式经过调整后用于水体判识和提取的计算模型如下:

$$D_T = a\{[\text{float}(B1) - \text{float}(B2)] + |-b|\}, \quad (2)$$

其中: D_T 为差值 D 经调整后的值, a 和 b 为调整系数。

对于 a 、 b 值的确定,首先利用ENVI4.2的统计功能对(1)式计算得出的差值图像进行灰度值统计,确定绝对值最大的负值 $-b$,其次根据所要求的动态范围0~255,即可确定 a 值。

1.2.4 利用阈值法提取水域

在差值图像上,水体的灰度值最大,且一般随着水深的降低,灰度值略为变小。因此,阈值判识式为:

$$D_T > T, \quad (3)$$

其中: T 为阈值; D_T 为经 a 、 b 系数调整后的差值图像

的像元灰度值。

对于阈值 T 的确定,选择人机交互方式进行,以 721 假彩色图像为参考,在 ENVI 4.2 平台上对差值图像进行充分的水域灰度值采样,总共采集 50 个点,记录每个点的灰度值,并计算其平均值 Ta (取整数)。首先,以阈值 $T = Ta$ 进行水域提取,把提取出来的水域叠加在 721 假彩色合成影像图上,利用闪烁显示工具 (Flicker Tool) 进行叠加闪烁显示,发现提取出来的水域面积比实际水域面积要大,说明阈值偏小。其次,以平均值 Ta 为起点值,逐次增加 1 的方法往上调整阈值,逐次加 1 逐次提取水域,直到提取出来的水域面积达到较为符合实际水域面积时为止。最后,确定判别水体的阈值。但是,利用此阈值提取出来的水域,仍然存在少数不符合实际情况的现象。因此,对阈值提取结果还需要采用人机交互目视判读勾绘的方法进行误判纠正,直至达到满意的效果。把提取出来的水域赋属性值为 1,非水域赋属性值为 0,即可以做成二值图像。

1.2.5 水域面积计算

从遥感影像分类出水域以后,由于提取出来的水域往往存在许多细小破碎的水域,因此直接统计水域栅格图中的水域像元数,再将像元数乘以每个像元所覆盖的实际面积,即可得到水域面积^[12]。

1.2.6 精度评价

为了验证所提取出来的水域边界是否准确,我们利用 GPS 接受仪进行了野外定点验证。方法是手持 GPS 接受仪到实地沿着水库边界尽可能均匀地取点进行地理坐标定位,总共采集了 100 个坐标点,然后室内把所有坐标点导入到 GIS 平台上,与提取出来的水域边界坐标进行对比分析,实现对水域边界提取结果的精度评价。

2 结果与分析

2.1 差值影像图及其表现特征

由计算统计得出(2)式的 b 值为 8916,进而确定 a 值为 1/35。用于水域提取的差值影像图如图 1 所示。对此差值影像图进行灰度值统计,得出图像灰度值的最大值为 249,最小值为 0,平均值为 118,已符合 0~255 的范围值要求。在差值影像图上,水域与周围陆地表现出明显的差异,水域越深,水域与陆地的灰度值差异越明显。水域具有较高的灰度值,表现为灰白色或白色,而陆地具有较低的灰度值,表现为灰黑色到黑色的过渡变化,水陆边界较为清晰,有利于水域的目视判别与阈值的选定。

2.2 水域分布及其面积

水域灰度值采样数据如表 1 所示。对 Ta 进行调整,确定判别水体的阈值为 $T = 157$ 。

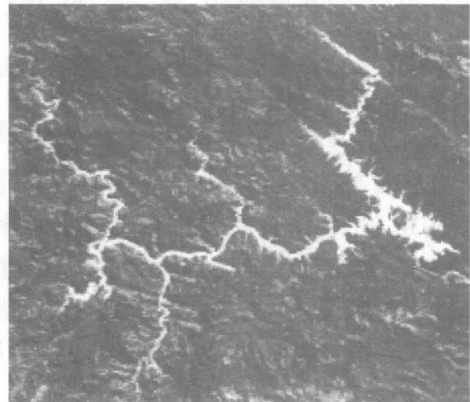


图 1 百色水利枢纽库区差值影像
Fig. 1 Difference image of Baise Multi-purpose Dam Reservoir

表 1 水域灰度值采样数据

Table 1 The sample data of gray intensity of water area

灰度值 Gray intensity										平均值 Mean	取整平均值 Integrity of mean (Ta)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
224	180	150	113	175	134	132	185	143	129		
145	134	147	165	118	153	137	157	140	159		
221	120	127	152	179	144	149	105	153	146	151.6	152
189	133	176	171	150	121	146	151	162	136		
154	201	207	155	151	163	117	131	128	122		

利用阈值自动判别和目视纠正方法提取出的水域范围如图 2 所示(水域为白色部分)。

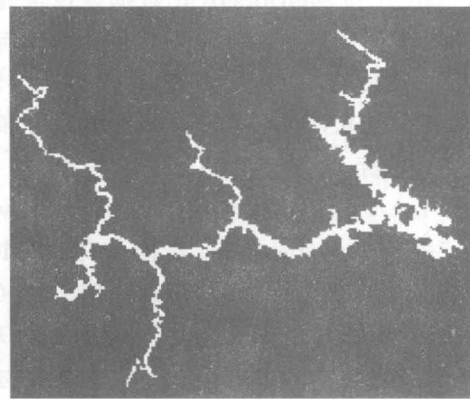


图 2 百色水利枢纽水库树枝状水域
Fig. 2 Dendritic water area of Baise Multi-purpose Dam Reservoir

从图 2 可以看出,百色水利枢纽库区水域呈树枝状分布,蓄水后形成一个大型人造湖泊,湖泊内形成了多个岛屿,在水域的上游树枝状部分,提取出来的水域出现少数不连续现象。经过统计像元数得出本次研究区域的总像元数为 46029 个,其中非水域像元数为 43343 个,水域像元数为 2686 个,水域像元数占总像元数的 5.835%。已知 MODIS 数据空间分辨率为 250m,所以每个像元所代表的实际面积为

0.0625km²。因此,本次研究提取出来的百色水利枢纽库区水域面积为 $2686 \times 0.0625 \text{ km}^2 = 167.875 \text{ km}^2$ 。对于提取出来的这个水域面积,所反映的是百色水利枢纽库区在2005年8月26日正式下闸蓄水后,在2006年11月4日所表现出来的水域面积大小。随着蓄水时间的延长或受水库管理部门调节水资源的影响,水域面积有可能处于动态变化之中。因此,适时利用获取方便的 MODIS 遥感数据实施水情动态变化监测具有实际意义。

2.3 精度及其影响因素分析

在野外 GPS 定位的100个验证坐标点中,有89个坐标点与水域边界基本吻合,其每个点与水域边界的偏差距离均小于像元边长(MODIS 影像像元边长为250m),而其余11个坐标点与水域边界则存在比较明显的偏差,偏差距离大于像元边长,这些存在较大偏差的坐标点主要集中分布在库区上游的树枝状细小水域地区。其主要原因是库区水域下游部分水域面积较为宽广,水域较深,水陆边界清晰可辨,阈值提取的结果能较好地符合水域边界;而在库区水域上游树枝状部分,由于受 MODIS 数据空间分辨率的限制和复杂地形山体阴影的干扰,以及水域宽度较窄或水域边界部分被森林植被所覆盖,使提取出来的线状水域出现了不连续现象,因而在一定程度上降低了水域提取的总体精度。

3 结束语

MODIS 传感器具有较高的光谱细分程度和较强的水体识别能力,适宜用于水情监测。目前,MODIS 数据可以从 TERRA、AQUA 两颗卫星中获得,每1~2d 就可以获取全球地表数据,具有更新快、效果好、成本低等特点,对于实时更新和测算最新的水库水域面积及其它参数(如水位、水量等),具有实际应用意义。

传统的水域面积测量方法,如地面踏查利用地形图勾绘水域范围,往往费时、费力,且容易受地形条件的限制。本次研究利用 MODIS 数据快速识别了库区水域的分布范围,并用统计像元数的方法计算水域面积,为水利部门快速了解水库水资源现状提供了一种

简便有效的方法。

MODIS 遥感影像数据具有宏观性优势,在监测较大水域面积的湖泊、河流时能够准确反映水体边界。但由于空间分辨率的客观原因,一些较细小的线状水体没有能够准确地被反映出来,导致提取出来的线状水域出现不连续现象,或由于混合像元的干扰,提取出来的水域面积比实际面积要大,这种现象在多山、多森林覆盖的南方山区更为常见,如何解决这方面问题是一个亟待研究的课题。

参考文献:

- [1] 陈洁钊. 百色水利枢纽工程对生态与环境的影响及对策建议[J]. 中国水利, 2005(22): 32-34.
- [2] 颜梅春. 基于 TM 数据的水域变化信息提取研究[J]. 水资源保护, 2005, 21(6): 31-33.
- [3] 邓劲松, 王珂, 邓艳华, 等. SPOT-5 卫星影像中水体信息自动提取的一种有效方法[J]. 上海交通大学学报: 农业科学, 2005, 23(2): 198-201.
- [4] 乔平林, 张继贤, 李海涛, 等. 水库容水量遥感监测方法研究[J]. 测绘科学, 2003, 28(3): 55-56.
- [5] 彭定志, 熊立华, 郭生练, 等. MODIS 在水文水资源中的应用与展望[J]. 水科学进展, 2004, 15(5): 683-688.
- [6] 杨兰芳. 应用 EOS/MODIS 资料监测河西内陆河下游水库湖泊水域的变化[J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 49-53.
- [7] 宫恒瑞, 肖继东, 李聪, 等. 基于 MODIS 卫星数据对艾比湖水域面积变化的监测[J]. 新疆气象, 2005, 28(2): 18-20.
- [8] 李登科, 张树誉. EOS/MODIS 遥感数据与应用前景[J]. 陕西气象, 2003(2): 37-40.
- [9] 蒯晓童, 陈德清, 陈子丹. MODIS L1B 数据在水利中的应用[J]. 地理空间信息, 2006, 4(2): 41-43.
- [10] 彭望禄. 遥感概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 47-49.
- [11] 汤国安, 张顺友, 刘咏梅, 等. 遥感数字图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 158-159.
- [12] 彭定志, 徐高洪, 胡彩虹, 等. 基于 MODIS 的洞庭湖面积变化对洪水的影响[J]. 人民长江, 2004, 35(4): 14-16.

(责任编辑: 韦廷宗)